ENDEAVOUR

Revue trimestrielle, publiée en cinq langues et destinée à tenir registre du progrès des sciences au service du genre humain

VOLUME XVIII Juillet 1959 NUMÉRO 71

SOMMAIRE

070.432:629.19
Article de Tête: L'exploration de l'espace 115

523.872:621.396.9
La structure galactique et la raie radio-électrique de 21 centimètres — H. C. VAN DE HULST, Ph.D. — 117

639.3:577.18:591.481.2
L'utilisation des hormones hypophysaires en pisciculture — JAMES W. ATZ, B.A., M.Sc., Ph.D., et GRACE E. PICKFORD, Ph.D. — 125

591.465.1
L'œuf de mammifère — C. R. AUSTIN, D.Sc., B.V.Sc., et E. C. AMOROSO, Ph.D., M.B., B.Ch., B.A.O., F.R.S. — 130

54(091.2)
La théorie du phlogistique — DOUGLAS McKIE, Ph.D., D.Sc. — 144

552.11
Roches cristallines et chronologie géologique — J. SUTTON, Ph.D., F.G.S. — 148

58.006(421.9)
Le bicentenaire du Jardin Botanique de Kew — C. E. HUBBARD, O.B.E., F.L.S. — 156

049.3
Revue des livres 161

Brèves notices bibliographiques 167

Notes biographiques sur les collaborateurs 168

Livres reçus .. .. Couverture III

Rédacteur en chef: TREVOR I. WILLIAMS, M.A., B.Sc., D.Phil., F.R.I.C.
Rédacteurs adjoints: G. N. J. BECK, B.Sc., A.M.I.E.E. (*Pour les éditions étrangères*)
W. A. OSMAN, B.Sc., M.Sc., A.R.C.S.

Imperial Chemical Industries Limited, Millbank, Londres, S.W.1
Prière d'adresser toute correspondance à la rédaction, North Block, Thames House, Millbank, Londres, S.W.1

L'exploration de l'espace

Parmi les problèmes qu'a suscités le rythme accéléré des découvertes scientifiques et de leurs applications au cours des deux dernières décennies, celui d'en prévoir les conséquences sociales, et à s'y préparer, n'est pas des moindres. Si le grand public se méfie encore de la science et considère qu'à tout prendre elle fera vraisemblablement plus de mal que de bien à l'humanité, cela est dû, en grande partie, à ce que les autorités responsables négligent de le préparer aux développements qu'elles doivent considérer comme imminents et inévitables. La carence des dirigeants sous ce rapport est particulièrement grave quand il s'agit de l'exploration de l'espace. Le lancement par les Russes du premier satellite artificiel, en octobre 1957, a pris le monde presque complètement à l'improviste, et a provoqué, à côté de commentaires très sensés, un déluge de conjectures aussi sensationnelles qu'ineptes quant à son importance. En moins de deux ans, les progrès accomplis dans l'exploration de l'espace ont été remarquables. D'autres satellites artificiels ont été lancés et par la Russie et par les Etats-Unis. Des projectiles ont même dépassé la Lune et sont devenus de nouvelles planètes permanentes, et l'on sait que des préparatifs, déjà très avancés, sont en cours pour le placement sur orbite autour de la Terre, d'une fusée habitée. Il est évident que l'exploration spatiale, longtemps considérée comme étant du domaine de la littérature d'imagination, est sur le point de se réaliser. Nous sommes au seuil d'une ère nouvelle d'exploration dont toutes les conséquences ne peuvent être prédites, mais ne sauraient être moindres que celles des grands voyages de découverte qui ouvrirent pour la première fois de nouveaux continents tout entiers à la civilisation occidentale.

Que ces progrès passionnants soient accueillis du grand public non seulement avec apathie mais avec hostilité, voilà qui n'est pas tout à fait surprenant, car l'histoire nous en offre des précédents. Un grand nombre des expéditions maritimes qui façonnèrent la civilisation moderne passaient pour extravagants à l'époque où elles eurent lieu, et ceux qui les entreprenaient, outre que leurs épreuves ne leur rapportaient que de maigres compensations (parfois même des punitions!), n'obtenaient qu'avec la plus grande difficulté l'appui financier nécessaire. Ce n'est que lorsqu'on s'aperçut de l'énorme valeur potentielle des nouvelles découvertes que commençèrent d'affluer les apports qui auraient tant allégé le fardeau des pionniers. Cependant, bien que la peur de l'inconnu soit invétérée chez la plupart des hommes, il existe également chez une petite minorité la détermination d'en triompher sans souci du péril. C'est grâce à une telle détermination de la part de quelques-uns que furent explorés les principaux territoires du globe en dépit de grandes difficultés et de grands dangers, et que fut considérablement augmentée l'étendue du monde civilisé. Ici, cependant, cesse toute analogie entre l'exploration du globe et celle de l'espace. Faute d'autre aide les explorations du globe pouvaient être financées par des groupes de particuliers et l'appui des gouvernements venait ensuite. En ce qui concerne l'exploration de l'espace, c'est précisément l'inverse qui a lieu. Vu leur coût initial énorme et les considérations stratégiques, les voyages des pionniers ne peuvent être entrepris, s'ils doivent l'être, que financés par les gouvernements. Plus tard, peut-être, l'entreprise privée pourra y participer, comme elle l'a fait d'ailleurs pour le développement de l'énergie atomique, lequel, à l'origine, était strictement réservé aux seuls gouvernements.

Quand on considère l'exploration de l'espace, on ne peut faire autrement que la comparer à celle du globe. Elles ont certes des traits communs. Les adversaires de l'exploration du globe arguaient, par exemple, qu'il était oiseux de rechercher des terres nouvelles et probablement stériles aux limites extrêmes où pouvaient atteindre les moyens de transport dont on disposait à l'époque, alors que le pays lui-même offrait encore des possibilités de découverte et d'exploitation. Un argument semblable est mis en avant aujourd'hui, souvent dans des milieux dirigeants, selon lequel il est inutile de s'aventurer dans l'espace alors qu'il reste encore tant de recherche à faire dans ces domaines plus accessibles. Une raison supplémentaire de douter de la valeur de l'exploration de l'espace est naturellement le fait que celle-ci est liée à la lutte interminable entre les nations pour établir une suprématie militaire. Le lancement de satellites est un sous-produit de la fabrication de projectiles de guerre à longue portée. Tout le monde sait également que l'idée de l'exploration de l'espace ne provient pas, en premier lieu, d'un désir désintéressé d'étendre les connaissances scientifiques et d'améliorer le sort de l'humanité.

Quels sont les mérites grâce auxquels l'exploration de l'espace peut se recommander aux gouvernements des Grandes Puissances, lesquels sont aujourd'hui les seuls organismes qui disposent de

ressources suffisantes pour en rendre l'entreprise possible? En tout premier lieu, c'est, naturellement, la possibilité de récolter une moisson précieuse de nouvelles connaissances scientifiques: les résultats réalisés en un délai remarquablement court par les premiers satellites prouvent indéniablement qu'il ne s'agit pas là d'optimisme pur et simple. Nous avons dû jusqu'ici nous contenter, pour étudier l'espace, de deux fenêtres étroites, correspondant aux longueurs d'onde de la lumière et à celles des ondes hertziennes. Grâce à des instruments situés au-delà des confins de l'atmosphère, il nous sera possible d'avoir une vue de l'univers considérablement moins restreinte. Il est impossible, vu la nature des choses, de prédire l'apport d'une incursion dans l'inconnu, mais l'histoire nous enseigne qu'à la longue les recherches scientifiques pures dans un vaste domaine rapportent des avantages pratiques d'un ordre élevé. Deux domaines de la science, au moins, la météorologie et les communications radiophoniques, sont manifestement appelés à bénéficier d'une connaissance accrue, non seulement de l'atmosphère supérieure, mais aussi des zones de radiation intenses nouvellement découvertes au-delà de cette région. Il est à peine besoin de souligner l'énorme valeur économique que constituerait une prévision exacte du temps à l'échelle mondiale: la possibilité de réaliser cela, et peut-être aussi d'acquérir le pouvoir de réglementer le temps dans une certaine mesure, justifierait la dépense de capitaux considérables. La seule possibilité de photographier les conditions atmosphériques sur de vastes espaces serait précieuse et, d'ores et déjà, un certain succès a été enregistré dans ce domaine. De même, il serait très profitable d'améliorer la qualité et la fidélité de la communication radiophonique à longue distance. On sait que celles-ci dépendent en grande partie des conditions solaires et la récente photographie du disque solaire prise d'un point situé bien au-dessus de l'atmosphère est une indication de la manière dont l'exploration de l'espace peut faire avancer l'étude de la physique solaire.

L'espace extérieur offre des conditions expérimentales irréalisables en laboratoire et qui nous permettent l'espoir d'acquérir des connaissances nouvelles en astrophysique et en physique atomique. Dans les domaines biologiques et biochimiques, les perspectives sont extrêmement intéressantes. Il est difficile de croire qu'il n'y a de vie que sur la Terre, et il se peut fort bien que même à l'intérieur du système solaire — sur Mars ou sur Vénus, par exemple — il existe des organismes vivants, ne seraient-ils que rudimentaires, dont les processus vitaux sont tout différents de ceux des végétaux et animaux terrestres. La preuve que ce n'est pas là une fantaisie de l'imagination mais une sérieuse considération est le fait que d'ores et déjà on cherche à conclure un accord international relatif à l'organisation des vols spatiaux, afin que les résultats scientifiques à obtenir ne soient pas rendus incertains par l'introduction involontaire de matériel biologique terrestre. Outre ces considérations qui découlent assez clairement de la nature des réalisations courantes, il est clair également que l'exploration de l'espace comporte la révélation possible de domaines de connaissances jusqu'ici insoupçonnés.

L'exploration de l'espace devrait être une entreprise internationale et le Conseil International des Unions Scientifiques a fait œuvre utile en instituant le Comité International de l'Exploration de l'Espace (Cospar). Il existe déjà une certaine collaboration entre les nations, mais dans les circonstances actuelles, les rivalités sont inévitables. On doit s'attendre en conséquence à une publication incomplète des résultats obtenus, et à ce que seules les nations qui ont elles-mêmes quelque contribution de valeur à faire bénéficient de l'expérience des autres. Avec le temps, cette situation peut changer — comme cela s'est produit dans le domaine de l'énergie atomique — mais attendre que cela se réalise c'est permettre à certaines nations de prendre une avance dominante. A l'heure actuelle, l'exploration de l'espace est presque exclusivement l'apanage des Russes et des Américains. Si les autres nations permettent que cette situation se prolonge, elles risquent de n'occuper qu'une médiocre position dans un domaine appelé à se révéler un des plus fructueux de la recherche scientifique moderne. De toute évidence, les voyages astronautiques suscitent de très sérieux problèmes pratiques qui sont encore loin d'être résolus. Toutefois, au cours des deux dernières années, il a été démontré de façon concluante que l'on peut beaucoup apprendre grâce aux appareils porteurs d'instruments. L'utilité de tels appareils augmentera au fur et à mesure du perfectionnement des instruments. Dans ce domaine plus restreint mais, quand même, extrêmement important, il est sûrement possible que les recherches deviennent plus véritablement internationales qu'elles le sont aujourd'hui.

La structure galactique et la raie radio-électrique de 21 centimètres

par H. C. VAN DE HULST

C'est au génie des Hollandais que nous devons l'une des méthodes de recherche les plus fécondes de l'astronomie moderne, l'étude de la raie 21 centimètres de l'hydrogène, qui s'est dessinée en Hollande vers 1944, au moment où ce pays supportait les plus grandes privations et se trouvait isolé du reste du monde. L'un des distingués précurseurs en ce domaine avait prévu, à partir de considérations théoriques, l'importance de la raie 21 cm de l'hydrogène; il retrace ici les progrès qui ont été faits depuis la guerre et étudie leur contribution à la connaissance de la structure galactique.

Clerk Maxwell avait prévu l'existence des ondes électromagnétiques plusieurs années avant qu'elles ne soient produites expérimentalement par Hughes et Hertz. L'histoire de la radio-astronomie se présente de façon identique: on a envisagé la possibilité d'observer des ondes radioélectriques d'origine extra-terrestres plus de trente ans avant leur observation effective.

En 1896 Marconi envoyait un signal radio à une distance de plusieurs kilomètres. La même année, Wilsing et Scheiner tentaient de capter des émissions solaires; leurs expériences étaient fondées sur l'hypothèse logique que le spectre solaire devait s'étendre de l'infra-rouge au domaine hertzien.

La première détection d'ondes radioélectriques d'origine extra-terrestre est de source inattendue. En 1930 Jansky avait découvert des ondes radio provenant non pas du Soleil mais de la Voie Lactée. Rétrospectivement ce fait apparaît comme une découverte sensationnelle mais à l'époque les astronomes n'y portèrent aucune attention. Quelque dix ans plus tard, lorsque Reber eut obtenu des résultats plus détaillés, deux astrophysiciens, Henyey et Keenan, tentèrent d'expliquer ce rayonnement. Leurs résultats furent publiés dans l'*Astrophysical Journal* et petit à petit le monde de l'astronomie en vint à apprécier les grandes possibilités offertes en ce domaine.

Le développement de la radio-astronomie au cours des vingt années suivantes est considérable. Elle n'est pas restée une branche intéressante de l'astronomie, réservée à un cercle restreint de quelques spécialistes, mais s'est trouvée liée à un grand nombre de problèmes d'importance primordiale en astronomie.

L'idée d'étudier la structure galactique à partir des observations de l'hydrogène neutre pris forme en 1944, au moment où les communications normales étaient coupées entre la Hollande et les autres pays, et la vie universitaire désorganisée. Pour chacun de nous en Hollande, la radio-astronomie était encore exclusivement l'affaire des Américains, bien que la Grande-Bretagne et l'Australie eussent entrepris déjà leurs impressionnants travaux dans ce domaine. Oort, qui avait effectué de longues recherches sur la structure galactique, me demanda d'étudier à l'occasion d'un colloque, les conséquences des observations de Reber et d'en faire une mise au point théorique. Il me demanda également d'examiner les raies dans cette région du spectre, ces raies devant fournir d'importantes indications sur l'origine du rayonnement dans l'espace.

Nous devons rappeler ici les méthodes ordinaires de détermination des distances en astronomie. La situation fâcheuse de l'astronome au cours de ses investigations sur la structure galactique est due au fait que les distances des objets qui l'intéressent sont inconnues ou mal connues. Dans la Galaxie, la plupart des étoiles de types communs se répartissent suivant un disque aplati de quelques centaines de parsecs d'épaisseur et de rayon 15 000 parsecs environ.[1] Le Soleil se trouve à proximité du plan de symétrie du disque, à 8 000 parsecs du centre. En regardant à partir de ce point d'observation isolé, nous pouvons déterminer de façon convenable les distances qui nous séparent des étoiles distantes de moins de 50 parsecs par triangulation au moyen du diamètre de l'orbite terrestre; mais ces étoiles ne représentent qu'une fraction négligeable de l'ensemble de la Galaxie. Cependant leurs observations fournissent des

[1] 1 parsec $= 3{,}08 \times 10^{18}$ cm $\approx$ 3 années-lumière.

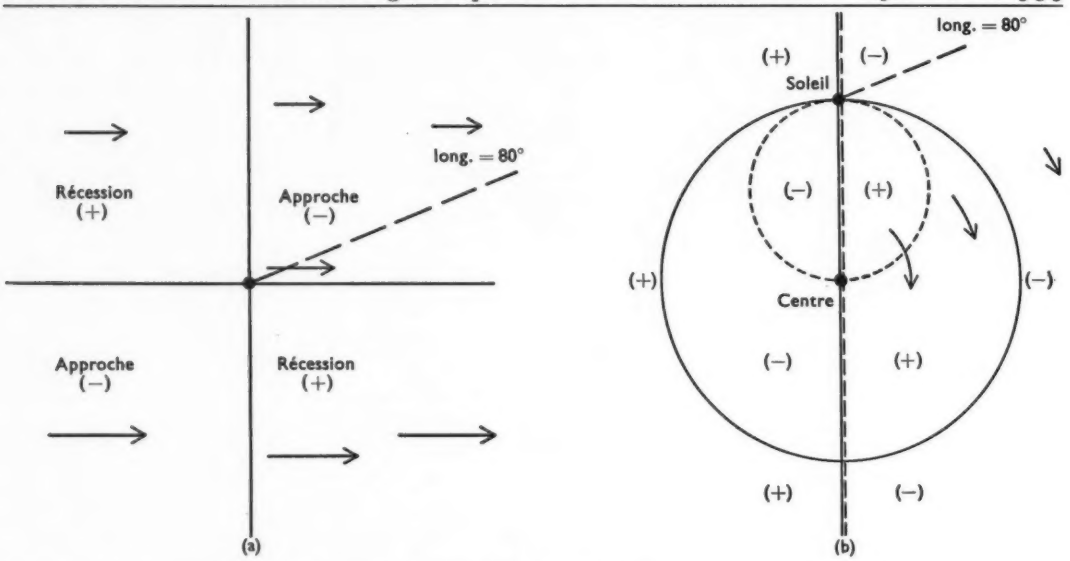


FIGURE 1 – *Le phénomène de la rotation galactique différentielle.* (a) *Situation au voisinage du Soleil: les observations photographiques et photoélectriques ne pénètrent pas au-delà de cette région.* (b) *Situation pour l'ensemble du plan galactique. Cette vue générale a été obtenue au moyen de la raie* 21 *cm seulement. Dans les deux diagrammes les signes* + *indiquent des vitesses de récession systématiques, les signes* – *des vitesses d'approche systématiques. Les lignes en trait plein représentent la vitesse zéro. L'estimation des distances est en défaut sur la ligne et le cercle pointillés où le changement de la vitesse avec la distance est* 0 *au premier ordre.*

renseignements permettant l'évaluation d'étalons secondaires de mesure de distances qui sont utilisés par la suite. Un grand nombre de ces mesures sont basées sur les études statistiques des mouvements stellaires.

Une méthode puissante, applicable aux étoiles dont la distance est supérieure à 500 parsecs, est donnée par l'observation de la rotation galactique différentielle. Dans un volume local quelconque, à quelques exceptions près, les étoiles semblent se déplacer au hasard. Leurs vitesses, rapportées au centre de gravité du groupement, sont de l'ordre de 10 à 20 km/s. Le Soleil n'est pas une exception, sa vitesse est de 18 km/s par rapport au centre de gravité des étoiles de notre voisinage. Cependant, à l'échelle galactique, toutes ces étoiles se déplacent d'un mouvement d'ensemble: le centre de gravité du groupe décrit une orbite circulaire autour du centre de la Galaxie, chaque étoile prise individuellement se déplaçant suivant une orbite excentrique. Les vitesses effectives sont élevées, la vitesse orbitale des étoiles voisines du Soleil est de 220 km/s et la durée d'une période orbitale est de 230 millions d'années; ces valeurs sont déduites de l'étude d'autres groupes d'étoiles à grande distance.

La vitesse angulaire des étoiles due à la rotation de la Galaxie décroît avec la distance à partir du centre, ce qui est représenté par les longueurs des flèches dans les figures 1*a* et 1*b*. Si, dans la figure 1*a*, la ligne pointillée représente la direction de déplacement du Soleil, il est clair que celui-ci aura tendance à rattraper les étoiles qui se trouvent dans la région supérieure à droite et s'en rapprochera. De la même façon, les étoiles situées dans le quadrant inférieur à gauche tendront à rejoindre le Soleil et s'en approcheront. D'autre part, les étoiles des deux autres quadrants présenteront une récession par rapport au Soleil. C'est ce que confirme l'observation. Les vitesses relatives augmentent et peuvent être mesurées par effet Doppler. Elles sont ainsi utilisables dans la détermination des distances; mais ceci a une limitation due au fait qu'à des distances du Soleil supérieures à 2 000 parsecs, les observations optiques au voisinage du plan galactique deviennent extrêmement difficiles, la plupart des objets étant partiellement ou complètement invisibles par suite de l'absorption interstellaire. De plus, l'approximation linéaire est en défaut (figure 1*b*).

La même technique peut être mise en œuvre en radio-astronomie. Une ligne spectrale extrêmement intéressante se suggère d'elle-même, c'est celle qui correspond aux deux niveaux de transition

hyperfine de l'atome d'hydrogène à partir de l'état fondamental. En langage courant, l'électron et le proton qui constituent l'atome d'hydrogène peuvent être considérés comme des aimants permanents; il y a émission de la raie lorsqu'ils passent de la position parallèle à la position antiparallèle. La longueur d'onde de cette raie, 21,2 cm, est pratique dans les techniques modernes. Pourtant en 1945, d'importantes difficultés techniques subsistaient encore pour une longueur d'onde aussi courte et ce n'est qu'en 1951 que la raie fut effectivement détectée, lors des découvertes presque simultanées d'Ewen aux Etats-Unis, Muller en Hollande, Christiansen et Hindman en Australie.

TECHNIQUE D'OBSERVATION

En principe, l'observation complète de la raie 21 cm consiste à dresser une carte de l'intensité en fonction de trois variables: la fréquence (qui peut être traduite en vitesse) et deux coordonnées célestes. L'appareillage s'est considérablement amélioré au cours de ces dernières années. Ainsi, pour prendre d'autres exemples en Hollande, la différence est énorme entre l'équipement de Kootwijk en 1952 et celui utilisé à Dwingeloo en 1959. Le premier appareil employé était un vieux miroir de radar allemand à faisceau d'antenne elliptique de 2° × 3°. Le télescope était manœuvré à la main, et le contrôle de la fréquence et le maintien de l'accrochage des oscillateurs réalisés au moyen de méthodes laborieuses. Nous possédons actuellement un miroir de 25 mètres bien étudié, à faisceau de 0,57° de diamètre, dont le positionnement suivant les coordonnées est assuré soit par suivage d'une position fixe, soit par exploration et marquage automatique des fréquences. Un choix étendu des constantes de temps et des bandes de fréquences est maintenant possible. Une amélioration plus importante encore est la sensibilité et la stabilité du récepteur. Pour exprimer la brillance d'une région étendue du ciel, une unité pratique est le degré Kelvin (°K). Un corps noir à la température ainsi exprimée aurait la même brillance, à une fréquence donnée, que l'objet effectivement observé. Lorsque la raie 21 cm fut observée pour la première fois, son intensité maximum (100° K environ) était difficile à détecter. Pendant quelques années, des fluctuations et des variations brusques de 5 à 10° K de part et d'autre de la valeur moyenne restaient courantes. Cependant, le zéro d'un récepteur moderne dérive de moins de 1° K sur une période de plusieurs jours. La précision finale

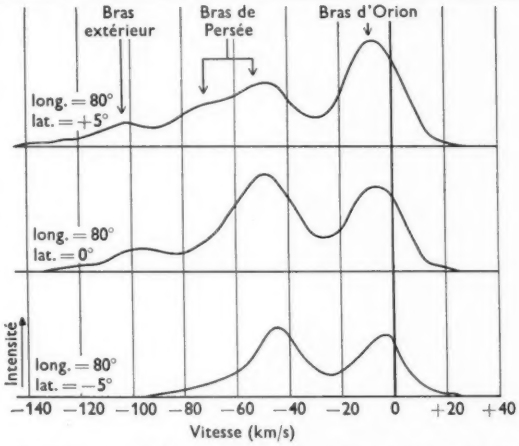


FIGURE 2 – *Profils de raies pour trois points de Cassiopée et Céphée. Chaque profil est un diagramme de l'intensité en fonction de la vitesse Doppler. Leur longitude commune est* 80° (*ligne interrompue de la figure* 1). *Le point médian se trouve dans le plan galactique, les autres à des latitudes de* 5° *au-dessus et au-dessous du plan galactique. Noter la dépendance différente de la latitude, dans les trois bras.*

semble dépendre surtout de la largeur de la bande et du temps dont on dispose pour obtenir une moyenne du bruit de récepteur. Dans les recherches actuelles sur les systèmes extra-galactiques pour lesquels l'intensité est faible, une précision de 0,15° K est régulièrement atteinte.

L'exploration peut s'effectuer de plusieurs manières et le choix dépend de considérations pratiques. La plupart du temps le télescope suit le mouvement diurne d'un point du ciel et il y a exploration graduelle en fréquences. Le résultat est un profil de raie tout à fait comparable à celui d'une raie d'émission en spectroscopie. Un exemple est donné dans la figure 2. La ligne verticale à la vitesse zéro indique une fréquence constante: l'étalement en fréquence est dû uniquement à l'effet Doppler. Ceci suggère immédiatement une méthode d'analyse de ces données, que nous pourrions appeler la méthode standard. Si nous supposons que pour chaque atome considéré dans son voisinage immédiat les vitesses distribuées au hasard (vitesses résiduelles) restent nulles, c'est-à-dire que chaque atome décrit une orbite circulaire autour du centre galactique à une vitesse angulaire caractéristique de sa distance du centre, la vitesse peut se traduire directement en distance. Par conséquent, pour une fréquence donnée, un maximum du profil spectral correspond à une concentration d'hydrogène à une distance particulière. Ces concentrations indiquent les bras spiraux de notre Galaxie.

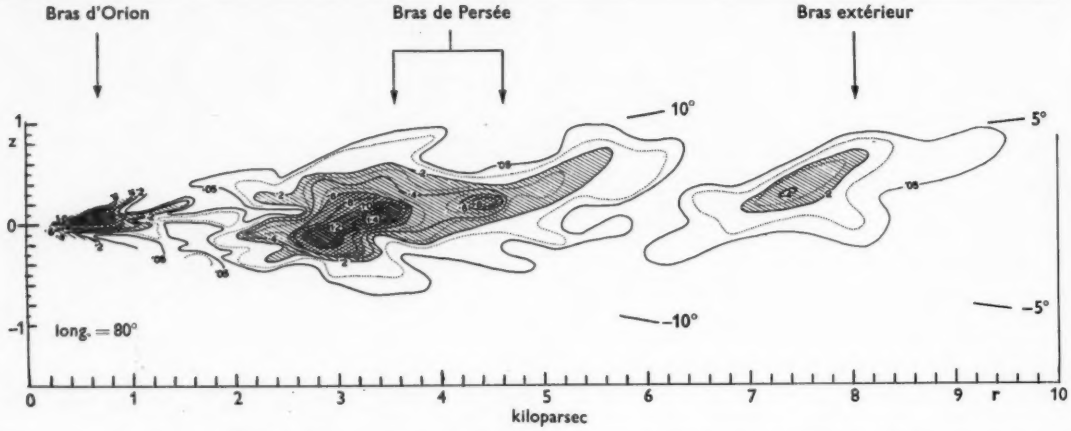


FIGURE 3 – *Section perpendiculaire au plan galactique. Elle montre les lignes d'égales densités d'hydrogène atomique dans un plan perpendiculaire au plan galactique. Le Soleil (ou la Terre) est à l'origine, r = distance du Soleil dans le plan, z = distance du Soleil comptée perpendiculairement au plan. Les parties hachurées les plus sombres correspondent à 2 atomes par cm³, les régions entourées les plus claires à 0,05 atome par cm³. Noter ici et dans la figure 2 le partage du bras de Persée et l'élévation du bras extérieur au-dessus du plan galactique.*

ÉTABLISSEMENT D'UNE CARTE DE LA DISTRIBUTION DE L'HYDROGÈNE ATOMIQUE

La même méthode est applicable quantitativement puisque le temps de transition au niveau supérieur de la raie 21 cm est connu: l'émission, transition spontanée de l'atome, se produit en moyenne au bout de onze millions d'années. Il est donc possible de convertir l'intensité spectrale à chaque fréquence en densité d'atomes d'hydrogène en chaque point de la ligne de visée. La densité varie de deux atomes par cm³ à des valeurs si faibles qu'elles sont indétectables; la moyenne est d'environ 0,7 atome par cm³ pour le disque galactique.

Avant d'arriver à un tel résultat, un certain nombre de problèmes doivent pourtant être résolus et certaines hypothèses formulées. Il est nécessaire, par exemple, de connaître la distance du Soleil au centre de la Galaxie. Il est nécessaire également de connaître la vitesse de rotation des étoiles à une distance donnée du centre. Un grand nombre de ces renseignements proviennent de l'astronomie optique. Cependant les mesures radioélectriques elles-mêmes peuvent aider de

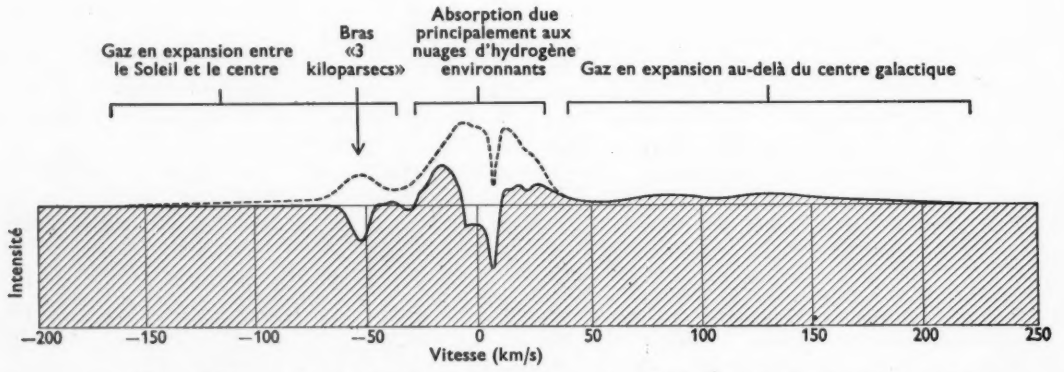


FIGURE 4 – *Mise en évidence de l'expansion du gaz dans le spectre de la source au centre galactique. Le spectre continu de la source est représenté par le trait fin horizontal. L'émission de la raie de l'hydrogène dans le faisceau de l'antenne, trouvée par interpolation à partir des profils d'émission pour des points voisins du ciel, s'ajoute à l'intensité indiquée par la courbe en pointillé. Lorsque l'antenne est dirigée vers la source, le profil observé est donné par la courbe en trait plein. Donc l'écart entre la courbe en trait plein et la courbe en pointillé montre l'effet de l'absorption par l'hydrogène en avant de la source.*

façon surprenante. Lorsqu'à partir de notre position (ou, ce qui revient au même, celle du Soleil) nous visons dans une direction faisant un certain angle avec la direction du centre de la Galaxie, nous trouvons un point de vitesse maximum; c'est le point pour lequel la ligne de visée passe le plus près du centre. Cette vitesse maximum donne directement la vitesse de rotation du point. Pour des directions à l'extérieur de cet angle, la méthode n'est plus valable et on utilise une courbe théorique établie à partir d'une hypothèse de distribution des masses dans la Galaxie. On verra plus loin que la méthode est en défaut aux distances inférieures à 3 000 parsecs du centre.

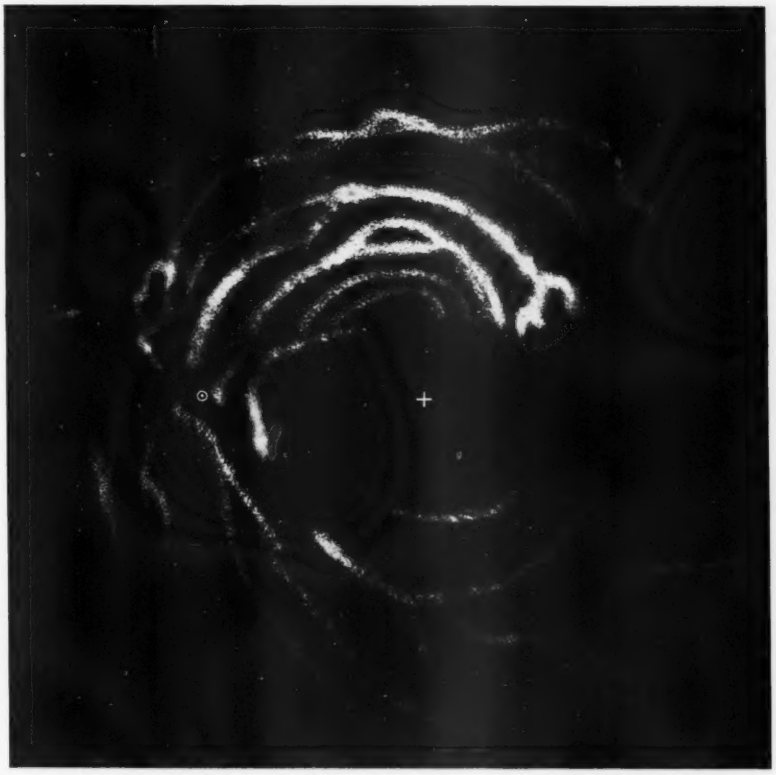


FIGURE 5 – *Représentation «artistique» des bras spiraux de l'hydrogène dans notre Galaxie. Toutes les concentrations relatives des atomes d'hydrogène ont été projetées sur le plan galactique. ⊙ = Soleil, + = centre galactique. Les secteurs au voisinage de la ligne joignant le Soleil au centre galactique et du côté opposé n'ont pas été complétés.*

Les vitesses résiduelles des atomes ne peuvent pas, en fait, être négligées. Non seulement ils possèdent des vitesses d'agitation thermique correspondant à une température d'environ 100° K, mais les observations montrent que les nuages de gaz interstellaire considérés dans leur ensemble sont animés de mouvements distribués au hasard tout comme les étoiles. Il en résulte que l'échelle des distances dans la méthode standard est «floue». Par son effet, ce «flou» est semblable à celui introduit suivant les coordonnées transversales et dû au pouvoir de résolution limité de l'antenne. De plus, les profils de raies montrent de nets effets de saturation des maxima d'intensité, ainsi une correction d'absorption propre est-elle nécessaire en fonction de la température du gaz.

Les données peuvent être rassemblées et traduites en diagrammes, compte tenu de ces complications. La figure 3 représente une carte typique de la région correspondant, à la longitude 80°, au volume compris entre les latitudes galactiques −10° et +10°; cette carte a été établie au moyen du télescope de Kootwijk. Les densités d'hydrogène ont été calculées à partir des profils de raie suivant des directions de visée à des intervalles de $2\frac{1}{2}$° en latitude. Les contours, tracés à partir de ces données, montrent la répartition complète de l'hydrogène atomique dans un plan perpendiculaire au plan galactique. Le plan coupe plusieurs bras spiraux et quelques ramifications secondaires. On a tenté de donner un nom aux bras spiraux principaux: dans la figure 3 le bras d'Orion n'est pas totalement représenté, des indications à beaucoup plus haute altitude auraient été nécessaires pour le compléter.

Les bras plus proches, ou certaines parties de ces bras, peuvent être aussi observés optiquement. En fait, l'identification optique des trois bras les plus proches, par Morgan et ses collaborateurs en 1951, a précédé les études radioélectriques. On se demande encore si les bras des jeunes associations stellaires, des régions de gaz ionisés et des Céphéides variables, révélés par les études optiques, sont identiques à ceux trouvés par l'observation de l'hydrogène atomique.

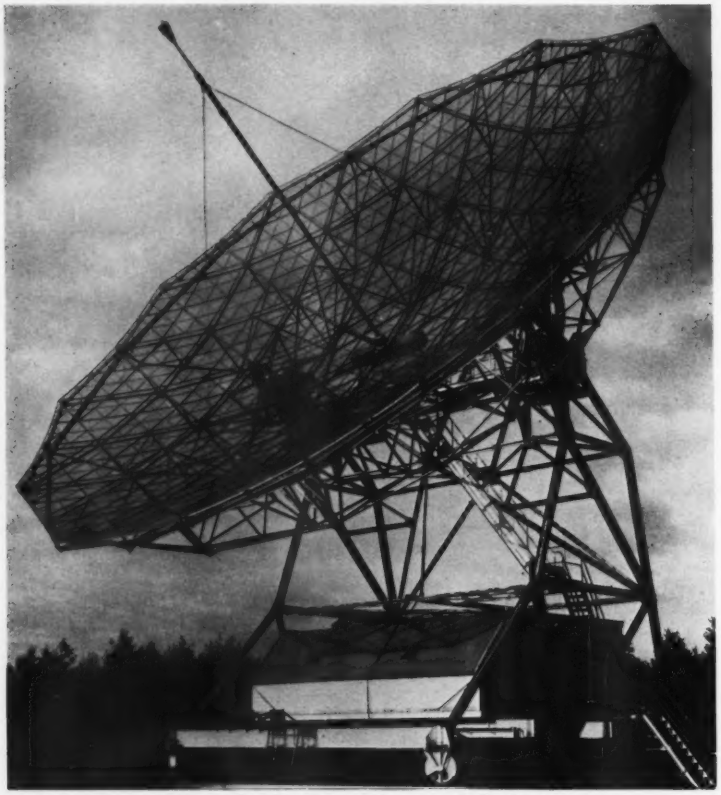


FIGURE 6 – *Le télescope de 25 m de Dwingeloo.*

Près de 150 cartes semblables à celle de la figure 3, obtenues dans des observatoires situés à différentes longitudes, donneraient une image tridimensionnelle complète de la répartition d'hydrogène dans le disque galactique, la limite étant celle du pouvoir de résolution du télescope de 7,5 m utilisé. En dimensions linéaires, on a résolu approximativement 150 parsecs transversalement et 600 parsecs suivant la direction de visée. Ces valeurs sont bien trop grandes pour permettre d'apercevoir les nuages interstellaires individuels, leurs diamètres étant de l'ordre de 10 parsecs. Le «flou» est tout juste atteint, pour obtenir une image d'ensemble de la structure galactique sans compliquer celle-ci par trop de détails.

Une telle carte tridimensionnelle était prête en 1955. Elle était incomplète, d'abord parce que la méthode standard n'était pas applicable au voisinage de la droite et du cercle pointillés de la figure 1. Ensuite parce qu'en Hollande, à peu près un quadrant de la Voie Lactée ne se lève jamais au-dessus de l'horizon. Deux ans plus tard, des chercheurs Australiens ont vérifié une grande partie des mesures effectuées sur la région septentrionale au moyen d'une méthode différente et ils ont complété la partie sud.

Pour arriver à une image d'ensemble à partir des renseignements hollandais et australiens, Westerhout et Kerr travaillèrent ensemble plusieurs mois. On verra dans la figure 5 le résultat reproduit sous forme «artistique». Ceci fait ressortir à la fois les régions intenses et les régions faibles beaucoup mieux que ne l'indiquerait une carte densimétrique. Bien que l'hydrogène soit confiné dans une couche étroite et remarquablement mince, les bras tendent, dans leurs régions extérieures, à s'écarter de leur plan. Le dessin reproduit figure 5 rend compte des détails nettement précisés dans le plan et au voisinage de celui-ci. C'est l'image directe de notre système galactique qu'examinerait, à partir d'une autre galaxie, un observateur hypothétique dont les yeux seraient des radiotéléscopes géants. Les détails vus par l'observateur seraient les bras spiraux.

En examinant cette carte, on peut se demander si le terme «bras spiraux» n'est pas quelque peu fantaisiste. Le but de ce schéma est sans doute de le comparer aux photographies d'autres galaxies spiralées appelées autrefois nébuleuses spirales. Il faut se souvenir cependant que la carte est incomplète et peut présenter de la distorsion. Il y a deux raisons à cela. D'abord les déviations locales du mouvement circulaire peuvent suggérer des déplacements en distance qui sont en fait des déplacements en vitesse. Ensuite les secteurs correspondant aux directions convergeant vers le centre ou s'en éloignant n'ont pas été remplis parce que la méthode n'est pas applicable dans ces régions. Ces secteurs doivent contenir autant d'hydrogène que les autres parties de la Galaxie. Finalement la question primordiale reste de savoir si les bras spiraux des photographies, indiqués par des étoiles brillantes et des nébuleuses gazeuses, ne peuvent pas différer des bras d'hydrogène.

En dépit de ces incertitudes, il est possible de

classifier notre galaxie. Traditionnellement les galaxies spirales sont subdivisées en types Sa, Sb, Sc. Les galaxies Sa ont un noyau très important et les bras spiraux s'enroulent autour d'elles. Les galaxies Sc ont un petit noyau et généralement deux bras proéminents, de structure irrégulières, qui s'en éloignent. Le type Sb est intermédiaire. La carte radio suggère nettement que notre galaxie est du type Sb. Les études optiques basées sur les populations stellaires étayent cette conclusion. Le fait que plusieurs bras sont presque circulaires n'est pas réellement déconcertant. Les bras qui ont une pente bien définie par rapport à la direction tangentielle, en particulier dans la région extérieure, montrent que le sens de rotation est tel que les bras sont entraînés.

PROGRAMMES DE RECHERCHES ULTÉRIEURES

Nous allons rapidement indiquer quelques-unes des directions dans lesquelles s'orientent les recherches relatives à la raie de 21 cm depuis ces dernières années.

Premièrement, des tentatives ont été faites, en vain, pour détecter au moins une autre raie. Une équipe russe a annoncé avoir découvert la raie du deutérium à $\lambda = 93$ cm, mais les dernières mesures, très précises, effectuées par le *Radar Research Establishment* de Malvern, en Angleterre, montrent que cette raie se trouve encore au-dessous de la limite de détection.

Deuxièmement, on a commencé des études sur la plus grande partie du ciel, au-delà de la zone de 20° qui borde la Voie Lactée. Un bon repérage d'ensemble a été effectué par la *Carnegie Institution* de Washington. Des régions d'intérêt particulier, telle que la constellation d'Orion, ont été étudiées à Harvard Observatory et à Dwingeloo. L'espoir d'obtenir quelque information sur l'immense halo qui entoure la Galaxie s'est presque évanoui. Au contraire, il est plus vraisemblable que ces études nous apporteront quelque chose au sujet de régions très localisées du disque galactique. La possibilité de résoudre des détails du gaz interstellaire suivant des dimensions de 1 parsec, à une distance typique de 100 parsecs, est tout à fait captivante. Il est probable que le modèle pratique des nuages interstellaires libres de dimensions de l'ordre de 10 parsecs devra être totalement révisé.

Troisièmement, il existe à peu près cinq sources d'émission radioélectrique continue assez puissantes pour produire un spectre d'absorption de la raie 21 cm. Plusieurs de ces sources ont des dimensions angulaires de 5 minutes d'arc ou moins. Elles ont donné aux radio-astronomes de Jodrell Bank en Angleterre, du *Naval Research Laboratory* à Washington et plus tard à ceux de Dwingeloo, une chance de s'assurer des vitesses de l'hydrogène à l'intérieur d'un angle solide très petit, fournissant éventuellement des estimations utiles des dimensions de ses sources.

Quatrièmement, d'autres galaxies ont été mesurées. Le *Radio-physics Laboratory*, à Sydney, a terminé il y a quelques années une très belle étude des deux nuages de Magellan. On a montré que la moitié environ des masses de ces galaxies, les plus proches de la nôtre dont elles sont de petits compagnons, est constituée par de l'hydrogène atomique. Notre propre Galaxie contient, par contre, environ 1% d'hydrogène atomique. La nébuleuse d'Andromède, un système Sb comme notre Galaxie et deux fois plus grande qu'elle, ne contient qu'environ 1% d'hydrogène. Cette nébuleuse, ainsi qu'une demi-douzaine d'autres, ont été étudiées à Dwingeloo et à Harvard.

EXPANSION AU VOISINAGE DU CENTRE GALACTIQUE

Notre propre Galaxie nous a réservé une grosse surprise. Au cours de ces deux dernières années il est apparu de plus en plus nettement que l'hydrogène gazeux au centre du disque galactique était non seulement en rotation mais également en expansion. Ce phénomène, découvert à Dwingeloo et encore à peu près inexpliqué, représente l'un des résultats les plus frappants obtenus jusqu'ici en radio-astronomie de 21 cm. Pour plusieurs années à venir le télescope de Dwingeloo a été réservé durant les trois heures du jour ou de la nuit pendant lesquelles la région centrale de la Galaxie est au-dessus de l'horizon, afin de poursuivre l'étude de ce phénomène.

Les observations effectuées dans le but de trouver une loi de rotation des régions internes de la Galaxie ont rencontré une difficulté en 1954. La méthode consistait à déterminer la vitesse maximum dans chaque direction du plan galactique, et fonctionnait parfaitement pour des longitudes comprises entre 25° et 65°, angles comptés à partir de la direction du centre. A des longitudes inférieures à 25° on ne trouvait aucun maximum net de vitesse et les profils spectraux présentaient des bandes latérales de faible intensité avec des vitesses élevées. Au voisinage immédiat du centre, on a trouvé que les vitesses de ces «ailes» étaient à la fois positives et négatives; l'hypothèse de la rotation interdit l'une de ces vitesses, ce qui

implique qu'à l'intérieur d'une région dont la distance au centre est inférieure à 3 000 parsecs, le mouvement du gaz n'est pas une simple rotation: nous présumions qu'il y avait turbulence.

Cependant les observations de ces ailes au moyen de l'instrument plus puissant de Dwingeloo fournit un grand nombre de détails et le résultat n'était pas en accord avec l'hypothèse d'un régime de turbulence. Un maximum qui se présentait en général à une certaine fréquence pour une longitude habituelle, était repéré à une fréquence légèrement déplacée pour une longitude voisine. C'est tout à fait ce qu'on avait trouvé pour les bras spiraux dans les régions extérieures du système galactique. Mais les vitesses «interdites» subsistent et ces bras ne peuvent être localisés dans l'espace par la méthode standard.

Le bras le plus important de cette région peut être suivi dans un intervalle de longitude de 28°. Par interpolation des longitudes adjacentes, la composante de sa vitesse suivant la ligne de visée, observée dans la direction exacte du centre galactique, devrait être -53 km/s. Il y a dans cette direction une source puissante d'émission radio continue, cette source est située très probablement au centre de la Galaxie: son spectre continu rend impossible l'observation de la raie d'émission 21 cm suivant la méthode ordinaire. Le spectre observé est très complexe (figure 4), il présente à la fois des composantes d'absorption (nuages d'hydrogène atomique à l'intérieur du petit angle solide déterminé par la source) et des composantes d'émission (nuages d'hydrogène atomique dans le faisceau d'antenne mais ne couvrant pas la source). En 1957 on a découvert une raie d'absorption intense pour -53 km/s exactement. Ceci représente sans doute le même bras en spirale passant entre nous (la Terre) et le centre de la Galaxie, et dont la composante de vitesse au point de passage est de 53 km/s dans notre direction. C'est une vitesse d'éloignement à partir du centre, c'est-à-dire une expansion. La vitesse transversale (rotationnelle) ne peut pas être établie exactement mais estimée à partir d'observations pour d'autres longitudes: elle serait de 190 km/s. Ce bras est probablement situé à la limite de la région particulière, il est appelé le bras «3 kiloparsecs».

Remarquons que d'autres bras, moins importants, dont les vitesses sont positives, s'étendent également vers le centre mais ne sont pas représentés dans le spectre d'absorption. Ils doivent donc se trouver au-delà du centre galactique et leur mouvement d'éloignement est encore une expansion à partir du centre. Lorsque ceci fut découvert, il devint urgent de rechercher, systématiquement et avec grande précision, la présence d'absorption possible dans le spectre du centre de la source pour tous les déplacements Doppler compris entre -300 km/s et $+300$ km/s. Le résultat est remarquable (figure 4). Aucune absorption n'est observée aux vitesses positives tandis qu'à toutes les vitesses négatives correspond un effet d'absorption plus ou moins marqué, ce qui montre que le phénomène d'expansion n'est pas limité à quelques bras spiraux mais qu'il est général pour l'ensemble de l'hydrogène atomique dans une région centrale du système galactique.

REMERCIEMENTS

Les études poursuivies en Hollande dont il est question ici, ont été effectuées par la Fondation Radio-astronomique des Pays-Bas, avec la coopération des observatoires de Leyde et de Groningen.

BIBLIOGRAPHIE

Ayant trait à la prévision, à la découverte ou à la théorie physique de la raie 21 cm:

VAN DE HULST, H. C. *Ned. Tijdschr. Natuurk.*, **11**, 201, 1945.

EWEN, H. I. et PURCELL, E. M.; MULLER, C. A. et OORT, J. H.; PAWSEY, J. L. *Nature, Lond.*, **168**, 356, 1951.

WILD, J. P. *Astrophys. J.*, **115**, 206, 1952.

FIELD, G. B. *Proc. I.R.E.*, **46**, 240, 1958.

Idem. Astrophys. J. (Sous presse.)

Relative à la structure galactique et aux cartes radioélectriques 21 cm:

OORT, J. H. *Astrophys. J.*, **116**, 237, 1952.

OORT, J. H., KERR, F. J. et WESTERHOUT, G. *Mon. Not. R. astr. Soc.*, **118**, 4, 1958.

VAN DE HULST, H. C. *Rev. Mod. Phys.*, **30**, 913, 1958.

Articles détaillés sur les travaux de Kootwijk et Dwingeloo:

Bull. astr. Insts. Nethlds., **12**, N° 452, 117, 1954; **12**, N° 458, 211, 1954; **13**, N° 475, 151, 1957; **14**, N° 480, 1, 1957; **14**, N° 492. (Sous presse.)

Publications de conférences:

Rapports sur la 5e conférence sur les problèmes de cosmogonie (en russe). Moscou, 1956.

International Astronomical Union Symposium N° 4, «Radio-Astronomy». H. C. van de Hulst (publié par), Cambridge University Press, Londres. 1957.

International Astronomical Union Symposium N° 5, «The Large-scale Structure of the Galactic System». N. Roman (publié par), Cambridge University Press, Londres. 1958.

Onzième Conseil de Physique Solvay, «La structure et l'évolution de l'Univers». Stoops, Bruxelles. 1958.

International Astronomical Union Symposium, «Radio-Astronomy». R. N. Bracewell (publié par), Stanford University Press, Palo Alto. (Sous presse.)

L'utilisation des hormones hypophysaires en pisciculture

par JAMES W. ATZ et GRACE E. PICKFORD

L'élevage des poissons pourrait être très important, particulièrement dans les régions de surpopulation et de sous-alimentation. La difficulté a toujours été qu'en général ils ne fraient pas en captivité. Une solution possible serait l'utilisation d'extraits hypophysaires qui stimulent le frai. Ils se sont révélés précieux pour l'élevage intensif des poissons et pour résoudre les problèmes posés par la construction de barrages, en Russie, sur les rivières où vit l'esturgeon. Cet article décrit les expériences, les résultats obtenus et quelques applications.

On garde des poissons en captivité depuis des temps très anciens; dès 2000 ans av. J.C., les Sumériens maintenaient des poissons comestibles dans des viviers [1]. La domestication des poissons a cependant pris du retard sur celles des mammifères, des oiseaux et des insectes. Vers l'an 1000 de notre ère, on en avait domestiqué seulement deux espèces, la carpe (*Cyprinus carpio*) et le poisson rouge (*Carassius auratus*), toutes deux en Chine [2, 3]. Les méthodes d'élevage des œufs et des alevins de poissons d'eau douce comestibles pour la pêche se sont développées, en Europe, durant le XVIIIe siècle et le début du XIXe, rendant possible l'élevage des truites, des brochets et d'autres espèces analogues. Mais un enthousiasme injustifié, quant à l'efficacité du peuplement des eaux naturelles avec de jeunes poissons et le manque d'un stimulant économique pour amener les espèces à maturité en captivité, empêchait leur domestication. Même actuellement il n'existe qu'un petit nombre d'espèces, notamment la truite arc-en-ciel (*Salmo gairdneri*) qu'on puisse à proprement parler considérer comme domestiquées. En Extrême-Orient, le poisson combattant siamois (*Betta splendens*) est élevé et sélectionné pour sa combativité depuis des siècles [4], et, plus récemment de nombreuses espèces tropicales d'eau douce sont devenus des animaux domestiques, du fait de leur propagation continue et de la sélection dont ils font l'objet de la part des aquariophiles.

A côté de ces espèces, il existe des poissons comestibles régulièrement élevés dans des viviers depuis de nombreuses décennies — certains depuis des siècles — qui ne sont pas devenus domestiques, simplement parce qu'ils refusent de se reproduire en captivité. Parmi ceux-ci se placent quelques-unes des plus importantes espèces comestibles — la muge à grosse tête (*Mugil cephalus*), le *Chanos chanos*, et plusieurs espèces voisines de la carpe, originaires de l'Inde, de Chine ou de l'Asie du Sud-Est (comme *Ctenopharyngodon idellus*, *Aristichthys nobilis* et *Hypophthalmichthys molitrix*). L'éleveur ne pouvant obtenir la reproduction de ces poissons est obligé de recourir à des alevins sauvages. Chaque année, il lui faut capturer ou acheter de nouveaux animaux et il se trouve démuni si les conditions pour le frai sont mauvaises dans la nature. On ne possède pas de données précises, mais des estimations, datant d'une dizaine d'années, indiquent qu'il existait alors plus de 400 000 hectares de viviers, consacrés à l'élevage de tels poissons, représentant une production totale de l'ordre d'un demi-million de tonnes par an [5].

Dans un monde où la population humaine s'accroît à la vitesse de 25 millions chaque année, et où les peuples sont déjà sous-alimentés, on ne peut négliger aucun moyen d'accroître la production d'une source importante de protéines animales, particulièrement si l'on peut produire cette nourriture dans les régions mêmes où existent les plus grands déficits de ce composant vital de l'alimentation humaine.

L'expérience réalisée par B. A. Houssay, en Argentine, suggère une solution; en 1930, cet auteur a injecté à quelques petits poissons vivipares des hypophyses récemment extraites d'une autre espèce de poisson et obtenu la naissance prématurée de jeunes [6]. La conception actuelle du rôle de l'hypophyse (glande pituitaire) dans la reproduction des vertébrés avait commencé à se dessiner trois ans auparavant, avec la découverte de S. Aschheim et B. Zondek que des implants hypophysaires accélèrent le développement et le cycle sexuels de la souris femelle, et celle de P. E. Smith qui a démontré, pour la première fois sans équivoque, les effets de l'hypophysectomie,

puis des thérapeutiques de remplacement sur les gonades du rat de laboratoire [7]. Houssay, qui a si souvent abordé les problèmes physiologiques du point de vue comparé, ne tarda pas à appliquer des techniques similaires chez les amphibiens et les poissons. Son travail attira bientôt l'attention de R. von Ihering, directeur de la *Comissão Técnica de Piscicultura do Nordeste*, à Ceará, au Brésil. Pendant des années, le principal problème pour la pisciculture au Brésil avait été d'amener des poissons comestibles indigènes d'eau douce à frayer en captivité. Même si on les capture presque à maturité, ces espèces n'achèvent que rarement, sinon jamais, la maturation de leurs produits sexuels, qui au contraire dégénèrent. Dans la nature, le frai suit immédiatement les premiers orages de la saison des pluies, mais on n'a pas pu déterminer quels sont les stimuli efficaces du milieu, et l'on est donc incapable de les reproduire en captivité. En 1934, après deux ou trois ans d'expérimentation, von Ihering et ses collaborateurs ont mis au point une méthode efficace pour provoquer le frai des poissons d'étang en leur injectant les hypophyses d'autres poissons.

La glande pituitaire est fondamentalement similaire dans toutes les classes de vertébrés. C'est un petit corps localisé à la base du cerveau (figure 1). Bien que petite, elle constitue un facteur majeur de contrôle, étant la «glande maîtresse» du système de régulation hormonale de l'animal. Chez un poisson d'environ une trentaine de centimètres de long, l'hypophyse a environ la taille de l'extrémité d'une allumette et son poids varie de 1 à 10 mg. Chez les poissons, comme chez les autres vertébrés, l'hypophyse contrôle la croissance, la pigmentation, les capsules surrénales, la glande thyroïde et de manière moins claire de nombreuses autres fonctions, aussi bien que la reproduction. La forme et la disposition des différentes parties de l'hypophyse de poisson diffèrent assez profondément de celles que l'on trouve chez les vertébrés dits supérieurs, mais on y retrouve les mêmes éléments essentiels et, autant qu'on le sache, les mêmes types de cellules sont responsables de la production d'au moins huit hormones différentes, libérées par la glande au cours de son activité normale. Il existe des modifications cycliques remarquables dans l'hypophyse des poissons, en corrélation avec le cycle de reproduction (figure 2). Elles montrent une augmentation et une diminution des cellules cyanophiles productrices d'hormones stimulatrices des gonades (gonadotropes), aussi bien que la décharge de produits de neurosécrétion associés avec la libération de ces hormones.

Autant qu'on le sache, toutes les hormones de l'hypophyse sont des protéines. Chaque type d'hormone paraît être fondamentalement de même structure chimique, au moins chez les espèces de mammifères qui ont été étudiées. Il est clair, cependant, qu'il existe des différences importantes dans la succession des acides aminés et les propriétés physicochimiques des préparations purifiées tirées de différents vertébrés [8]. Les différences sont peut-être à l'origine de la «spécificité phyllogénétique» selon laquelle la réaction d'une espèce aux hormones pituitaires d'une autre est faible ou nulle. Néanmoins, l'hypophyse de mammifère est encore capable, dans certains cas, de stimuler la gonade d'un poisson et le contraire est aussi vrai [9–11, 27].

Cette situation est d'une importance fondamentale pour le pisciculteur. Un petit nombre d'espèces de poissons donneront des œufs ou du sperme quand on les traite avec des extraits hypophysaires de mammifères, mais la plupart ne le feront pas. Les hormones gonadotropes extraites du sérum de jument gravide ou de l'urine de femme enceinte donnent rarement un meilleur résultat. Le pisciculteur est donc rarement capable d'utiliser des extraits du commerce. A la place, il doit employer des préparations d'hypophyse de poisson qu'il a réalisées lui-même.

De nombreuses expériences endocrinologiques sur les mammifères et les oiseaux s'expliquent plus aisément en postulant la production par l'hypophyse de deux hormones gonadotropes [12–16].

La régulation de la libération des hormones gonadotropes par l'hypophyse tire son origine des stimuli du milieu et se transmet par les centres hypothalamiques à la base du cerveau. Chez les vertébrés à sang chaud, il existe un système porte hypothalamo-hypophysaire, connection vasculaire locale qui, croit-on, assure le transport des produits de l'hypothalamus à l'hypophyse et participe ainsi à la production et à la libération des hormones hypophysaires. Une disposition similaire existe chez les requins et les raies, mais les poissons osseux ne possèdent pas cette connection vasculaire [17] et les produits de neurosécrétion sont apparemment transmis le long des fibres nerveuses qui dans ce groupe se ramifient partout dans l'hypophyse [18]. De nombreuses expériences ont montré que des centres hypothalamiques spécifiques subissent, dans le cerveau des Téléostéens des modifications saisonnières de l'activité sécrétrice, en relation avec le cycle de reproduction [19, 20].

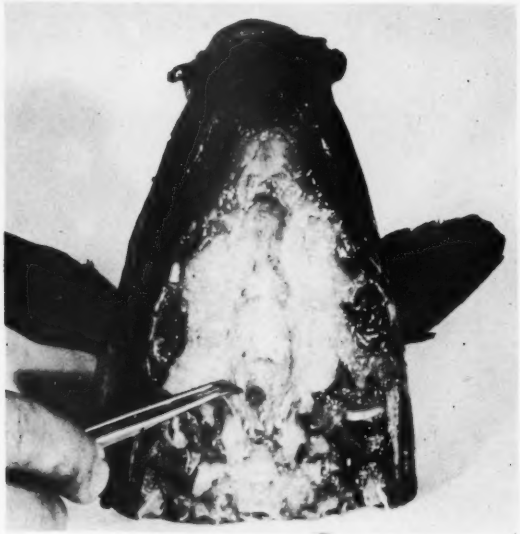
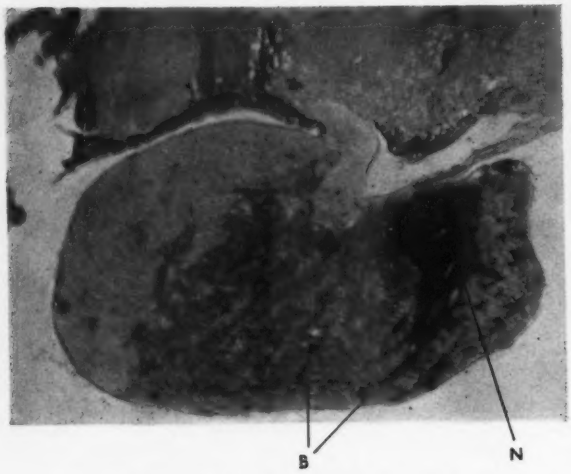


FIGURE 1 – *Dissection de poisson pour montrer l'hypophyse. (A gauche) Premier stade. Tête de carpe, la boîte crânienne retirée pour montrer le cerveau. (A droite) Second stade. Cerveau retiré pour montrer l'hypophyse. (Aimablement communiqué par Robert C. Ball.)*

Les considérations théoriques évoquées ci-dessus ont eu une grande importance pour la mise au point des procédés pratiques que nous allons discuter. Les pisciculteurs brésiliens n'ont pas tardé à améliorer leur technique simple, mais efficace. Ils ont constaté que les poissons donneurs doivent être au bon stade du cycle de reproduction; en effet, s'ils sont immatures ou s'ils ont récemment frayé, leurs hypophyses sont inefficaces à cause de la trop faible concentration en hormone gonadotrope. Les glandes tirées d'une grande variété d'espèces de donneurs peuvent se conserver pour un usage futur, en les déshydratant dans l'acétone ou l'alcool absolu. Les femelles demandent généralement des doses plus fortes que les mâles. De multiples petites injections ont de meilleurs résultats qu'une seule plus importante. En pratique, on fait de quatre à huit injections intramusculaires, ordinairement à six heures d'intervalle, jusqu'à ce que les poissons montrent par leur comportement qu'ils sont prêts à frayer. On retire alors la séparation qui isole les mâles des femelles dans l'aquarium et on leur permet de frayer. La quantité totale d'extrait hypophysaire administrée peut varier de une demi-glande à cinq glandes, en rapport avec la réceptivité du sujet.

C'est en Union Soviétique que l'on a fait de beaucoup le plus important usage du traitement hypophysaire. Les Russes ont d'abord essayé de provoquer la maturation ou le frai d'esturgeons captifs en 1932, au moyen d'hormones de mammifères, mais ce n'est qu'en 1937 que N. L. Gerbil'skii réussit à obtenir des œufs et du sperme mûrs à partir d'un nombre significatif d'esturgeons (*Acipenser stellatus*) qui avaient reçu dans le crâne, une ou deux hypophyses fraîches de la même espèce. Depuis lors, le traitement hypophysaire a joué un rôle toujours croissant dans la conservation des esturgeons, en Russie. On construit de plus en plus de barrages, d'écluses et d'usines hydroélectriques le long des rivières russes et celles-ci présentent des barrières insurmontables à l'esturgeon, qui doit remonter le cours pour frayer. On a, un moment, localisé les stations d'élevage de l'esturgeon près des lieux de frai; depuis la possibilité d'induire artificiellement la maturité, on a pu les rapprocher des embouchures des rivières puisque l'on peut maintenant y obtenir les stades finaux de la maturation grâce aux hormones. En 1950, dernière année pour laquelle nous possédons des données, près de 900 femelles appartenant aux deux espèces russes d'esturgeons les plus importantes industriellement ont subi le traitement. Aujourd'hui les Russes obtiennent tous les œufs d'esturgeon pour l'élevage à partir de poissons traités aux extraits hypophysaires [21].

Dans ce but, on récolte sur une grande échelle les glandes pituitaires d'esturgeon en utilisant les



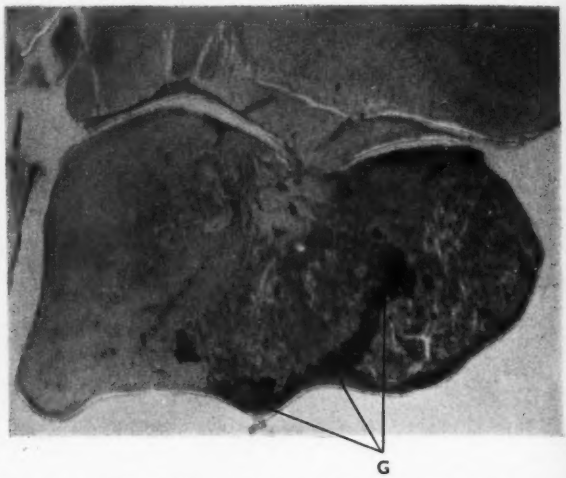


FIGURE 2 – *Modifications saisonnières dans l'hypophyse du* Fundulus heteroclitus, *en corrélation avec la maturation et la régression sexuelle. Coupes sagittales de l'hypophyse d'un poisson mâle, fixée au Bouin, coupée à 4 μ et colorée à la fuchsine aldéhyde (AF). (A gauche) En décembre (régression d'hiver). Les cellules basophiles (B) de la mésoadénohypophyse* (Übergangsteil) *sont petites et montrent comparativement peu de granules AF positifs dans le cytoplasme. La neurohypophyse contient une abondante accumulation de substance de neurosécrétion (N) (Grossissement* ×380). *(A droite) En mai (tôt dans la période de reproduction). Environ la moitié des cellules basophiles de la mésoadénohypophyse sont grandes et remplies de granules pourpres AF positifs (G). La plupart des cellules périphériques basophiles de cette zone, qui ne possèdent à ce moment que quelques granules dispersés, seraient bourrées de matériel AF positif en juin. La substance de neurosécrétion est dispersée dans la neurohypophyse.* (×220) *(Aimablement communiqué par Hilda Weyl Sokol.)*

poissons pris dans les pêcheries importantes. Une équipe de quatre hommes peut retirer et mettre en conserve environ cinq cent glandes par jour. Après déshydratation dans l'acétone, les glandes sont conservées à sec dans des bouteilles hermétiquement closes. On fait à chaque poisson une seule injection intramusculaire de l'extrait de deux à quatre glandes, puis on le maintient avec d'autres, ayant subi le même traitement, dans un vivier alimenté en eau courante. Dans le but de vérifier si les gonades des femelles sont suffisamment mûres avant l'injection, on peut les examiner grâce à une incision dans la paroi du corps. Les mâles et les femelles injectés sont maintenus ensemble et on les examine périodiquement, jusqu'à ce qu'ils aient atteint le stade voulu de maturité; à ce moment, on ouvre les femelles et leurs œufs sont fécondés artificiellement avec de la laitance prise sur les mâles.

Tous les esturgeons qui entrent dans une rivière ne sont pas assez mûrs pour être capables de répondre à un traitement hypophysaire; en fait, on peut reconnaître dans une espèce jusqu'à quatre «races» saisonnières différentes, chaque race étant caractérisée par un moment différent d'entrée dans la rivière en question. Certaines races montent immédiatement aux lieux de frai; d'autres demandent plusieurs semaines pour atteindre la maturité; d'autres encore restent plus de six mois en eau douce et y passent tout l'hiver avant le frai. La nécessité d'adapter le traitement hypophysaire à cette situation a entraîné les Russes à étudier le phénomène des races biologiques chez les poissons qui migrent en eau douce pour se reproduire, et à essayer de mettre en corrélation leur existence avec les conditions écologiques différentes trouvées dans les différentes rivières [22].

On a aussi fait des expériences de traitement hypophysaire de poissons dans au moins huit contrées européennes, ainsi qu'au Japon et en Argentine; mais apparemment sans application pratique à la pisciculture. Les raisons en sont faciles à trouver. L'élevage des poissons est relativement peu important dans la plupart des régions tempérées, et les seules espèces élevées en grandes quantités, comme la carpe et la truite arc-en-ciel, répondent bien aux techniques mises au point longtemps avant la découverte des fonctions de l'hypophyse. Aux Etats-Unis, cependant, on emploie régulièrement l'injection d'hormones hypophysaires pour produire des poissons rouges pour le commerce d'animaux familiers, et aussi des hybrides de carpe et de poisson rouge. On

utilise ces hybrides comme appâts, car ils sont stériles et ne peuvent remonter les rivières, envahir les lacs et en éliminer les poissons indigènes comestibles, comme les espèces parentes l'ont fait autrefois. On a maintenant adapté la méthode à la production en masse de vairons pour appâts, à l'élevage d'un poisson chat (*Ictalurus punctatus*) et au maintien du saumon du Pacifique (*Oncorhynchus* spp.), que des obstacles mis par l'homme empêchent d'atteindre ses frayères des cours supérieurs. Malheureusement, les méthodes efficaces pour la truite (*Salmo* spp.) se sont révélées presque sans résultats chez le saumon [23].

On a récemment obtenu aux Indes des résultats encourageants. Depuis des années, le principal problème pour la pisciculture indienne est de se procurer des jeunes poissons pour l'élevage. Si les moussons font défaut ou que se produisent d'autres circonstances défavorables durant la période de frai, de sérieuses disettes en poissons comestibles en résultent. H. Chaudhuri de la *Central Fisheries Station* à Cuttack, Orissa, est maintenant capable d'induire le frai de six espèces de carpes avec une seule injection intramusculaire d'une fraction de glande conservée dans l'alcool et prise sur des espèces variées de carpes [24]. Le caractère pratique de la méthode hypophysaire pour la pisciculture indienne fut incontestablement établi par l'obtention de résultats positifs dans cinq autres états [25]. De plus on a traité aussi avec succès des poissons-chats d'eau douce des Indes [26].

La plupart des recherches citées dans les paragraphes précédents concernent un problème relativement simple, puisqu'on pouvait administrer les injections d'hypophyse à des poissons déjà près de leur frai naturel. Cependant les Russes ont trouvé qu'il était nécessaire de garder les esturgeons de certaines races biologiques en viviers, pendant des semaines ou des mois, jusqu'à ce qu'ils atteignent le stade favorable de maturation, après lequel une simple injection d'hypophyse est efficace. L'induction de la croissance et de la maturation des gonades chez les poissons qui n'atteignent pas la maturité sexuelle dans les conditions d'élevage en viviers, constitue un important problème. Les espèces de carpes employées par exemple dans les viviers de culture mixte en Chine atteignent rarement, sinon jamais, la maturité. Il en est de même pour la muge à grosse tête et les poissons-chats siamois (*Pangasius* spp.). Bien qu'on ait pu réaliser la maturation complète de testicules régressés chez des poissons hypophysectomisés, en expérience de laboratoire, aucun résultat similaire n'a été rapporté pour les organes reproducteurs des femelles. Même si l'on pouvait obtenir de tels résultats par un traitement avec des mélanges appropriés d'hormones pendant de longues périodes, il est douteux que ce problème puisse être résolu sur une base pratique par le seul traitement hormonal.

BIBLIOGRAPHIE

[1] RADCLIFFE, W. «Fishing from the Earliest Times». Dutton, New-York. 1921.

[2] LIN, S. Y. *Proc. Indo-Pacific Fish. Council, 1st Meeting*, Mars 1949, 65, 1949.

[3] CHEN, S. C. *Scientia Sinica*, **5**, 287, 1956.

[4] SMITH, H. M. *Bull. U.S. nat. Mus.*, (188), 456, 1945.

[5] LIN, S. Y. *Proc. U.N. sci. Conf. Conserv. Utiliz. Resources*, 1949, **7**, 131, 1951.

[6] PICKFORD, G. E. et ATZ, J. W. «The Physiology of the Pituitary Gland of Fishes». New York Zoological Society, New-York. 1957.

[7] ALLEN, E. (publié par). «Sex and Internal Secretions» (2e édition). Williams and Wilkins, Baltimore. 1939.

[8] GESCHWIND, I. I. «Comparative Endocrinology». Gorbman, A. (publié par). John Wiley & Sons, New-York. (Sous presse.)

[9] LEBKOVA, N. P. Докл. Акад. Наук, СССР, **109**, 411, 1956.

[10] KIRSHENBLAT, Ia. D. *Ibid.*, **66**, 745, 1949.

[11] OTSUKA, S. *J. Sci. Suzugamine Coll.*, **3**, 129, 1956.

[12] DEMINALTI, M. et WEILL, J. D. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **152**, 815, 1958.

[13] KIRSHENBLAT, Ia. D. Докл. Акад. Наук, СССР, 111, 504, 1956.

[14] OTSUKA, S. *Endocrinol. Japon.*, **3**, 272, 1956.

[15] HARRINGTON, R. W. *J. exp. Zool.*, **135**, 529, 1957.

[16] GERBIL'SKII, N. L. Труды Карельск. Фил. Акад. Наук, СССР, **5**, 6, 1956.

[17] LEGAIT, H. *C.R. Soc. Biol., Paris*, **151**, 1940, 1957.

[18] LEGAIT, H. et LEGAIT, E. *Ibid.*, **151**, 1943, 1957; *ibid.*, **152**, 130, 1958.

[19] STAHL, A. *Acta Anat.*, Suppl., **28**, 1, 1957.

[20] POLENOV, A. L. Докл. Акад. Наук, СССР, **112**, 1122, 1956.

[21] GERBIL'SKII, N. L. Уч. Зап. Ленинград. Гос. Унив. Биол. Наук,(228), 2, 1957.

[22] *Idem. Ibid.*, (228), 11, 1957.

[23] ROBERTSON, O. H. et RINFRET, A. P. *Endocrinology*, **60**, 559, 1957. Anon. *Progr. Fish-Culturist*, **21**, 44, 1959.

[24] CHAUDHURI, H. et ALIKUNHI, K. H. *Current Sci.*, **26**, 381, 1957.

[25] CHAUDHURI, H. *In litt.* 1958.

[26] RAMASWAMI, L. S. et SUNDARARAJ, B. I. *Acta Anat.*, **32**, 230, 1957.

[27] YOUNG, J. Z. et BELLERBY, C. W. *J. exp. Biol.*, **12**, 246, 1935.

L'œuf de mammifère

par C. R. AUSTIN et E. C. AMOROSO

L'œuf est une cellule très remarquable du fait de sa grande taille, mais aussi parce qu'elle subit une série de transformations — que décrit cet article — si importantes qu'on en parle communément comme s'il s'agissait d'une succession de cellules différentes. Les illustrations de cet article ont été obtenues en combinant les techniques histologiques classiques et celles mises au point plus récemment.

C'est au cours du deuxième siècle de notre ère que les ovaires furent identifiés pour la première fois comme étant impliqués dans la reproduction, quand Galien déclara que l'équivalent femelle de la semence mâle était une substance de nature similaire, séparée du flux sanguin par les ovaires et passant, par les trompes de Fallope, dans l'utérus.

Cette croyance s'est maintenue pendant quatorze siècles. Puis, en 1672, de Graaf publie un livre dans lequel l'ovaire de mammifère est exactement et clairement décrit et où il apporte des preuves que sa fonction est analogue à celle de l'ovaire de poule. De Graaf avait trouvé dans l'utérus du lapin de petits objets arrondis qu'il appelle «œufs» (c'étaient en fait des blastocystes analogues à ceux de la figure 18) et des objets similaires bien que plus petits dans les trompes de Fallope. Il fut incapable de trouver autre chose qu'un liquide dans le follicule mais soutenait que le contenu de ce follicule était libéré, passait par les trompes de Fallope et formait les «œufs» à partir desquels des embryons pouvaient éventuellement éclore dans l'utérus.

En dépit des essais de nombreux chercheurs, les observations de de Graaf sur les embryons tubaires ne purent être confirmées pendant de nombreuses années et, comme on ne pouvait non plus trouver de structure identifiable dans le follicule, une grande partie de sa théorie tombait en discrédit. Un siècle plus tard, en 1797, Cruickshank observe des œufs tubaires chez le lapin le troisième jour après le coït et des embryons utérins à des stades plus tardifs (figure 19). Mais, comme de Graaf, il est incapable de retracer l'histoire de ces objets en remontant dans les premiers jours. Une nouvelle recherche soigneuse de Prévost et Dumas, en 1824, est également infructueuse, bien que ces auteurs aient été plus près du succès, car ils ont trouvé de petits corps d'environ 1 mm de diamètre dans certains follicules, qui étaient peut-être des œufs entourés des cellules du cumulus. C'est donc von Baer qui eut le mérite, en 1827, de reconnaître l'œuf ovarien (figure 20) et finalement d'identifier la source et la forme du gamète femelle.

Les développements ultérieurs furent relativement rapides et le concept moderne de la nature et de la fonction de l'œuf de mammifère se trouve pleinement établi dans les cinquante années suivantes. Le noyau de l'œuf ovarien, la vésicule germinative, est décrit par Coste, en 1834, Schwann suggère que l'œuf est une véritable cellule et Gegenbauer en montre la réalité. De nombreuses observations détaillées sont publiées par Barry (figure 21) et particulièrement par Bischoff (figure 22) sur les œufs de lapin, de cobaye, de chien et des cervidés. Au milieu du siècle, on sait que l'œuf des mammifères placentaires comporte une masse cytoplasmique, entourée à une courte distance par une épaisse membrane transparente, la zone pellucide. Les premiers indices réels des modifications cytologiques de la fécondation sont fournis par la perspicacité de van Beneden et de Hertwig qui montrent, en 1875 et 1876 respectivement, qu'un nouveau noyau se produit à partir du spermatozoïde et soutiennent que c'est l'union de ce noyau et de celui de l'œuf qui constitue l'acte essentiel de la fécondation. On doit aussi signaler les études de Tafani sur les œufs de rat vivants; mais ce sont les études histologiques soigneuses de Sobotta, vers la fin du XIXe siècle, qui sont principalement responsables des progrès rapides dans la connaissance détaillée de la maturation, de la fécondation et des premières divisions de segmentation (figure 23).

L'œuf tire son origine des crêtes génitales de l'embryon où les cellules germinales primordiales subissent plusieurs divisions mitotiques et donnent les ovocytes primaires. Ces ovocytes ne se divisent pas, mais augmentent énormément de taille et accumulent du vitellus dans leur cytoplasme; ils s'entourent d'abord d'une seule couche

de cellules folliculaires, puis de plusieurs couches. Ce système est le follicule ovarien. La croissance progressive continue et les couches de cellules folliculaires augmentent en nombre. A l'intérieur du follicule il se forme un espace, l'antrum, contenant le liquide folliculaire. Quelques heures avant l'ovulation, l'ovocyte (figure 1) commence sa maturation, en expulsant le premier globule polaire, devenant ainsi un ovocyte secondaire (figures 2, 7 et 28). La séparation du second globule polaire (figures 3, 27 et 36) qui marque la fin de la maturation se produit, chez la plupart des mammifères, seulement après l'ovulation et l'entrée du spermatozoïde.

Après l'ovulation, l'ovocyte secondaire passe dans la trompe de Fallope où la pénétration du spermatozoïde marque le début de la fécondation. Cette fécondation se termine par l'union des garnitures chromosomiques mâle et femelle (figure 8) et l'œuf se divise en un embryon à deux cellules (figures 5 et 9). La segmentation procède par une succession de divisions mitotiques grâce auxquelles on obtient un embryon formé d'un grand nombre de petites cellules (figures 10–14 et 39). Au début, ces cellules forment une structure pleine, connue sous le nom de morula, mais plus tard il se forme une cavité remplie de liquide et l'on a le blastocyste (figures 15–17 et 42). En un point de sa surface interne, le blastocyste porte un groupe de cellules, le bouton embryonnaire, à partir duquel le fœtus se développera, tandis que la paroi du blastocyste, le trophoblaste, est destinée à former les membranes fœtales.

Les tailles des œufs de mammifères, non proportionnelles aux tailles des mammifères adultes, varient si énormément qu'on ne peut les exprimer toutes commodément avec les mêmes unités. Les cellules germinales jeunes et les ovocytes primaires nouvellement formés sont un peu plus gros que les autres cellules de la crête génitale, mais à des moments variés après la naissance de l'animal, les ovocytes primaires subissent un accroissement considérable, au cours duquel leur volume s'accroît de 80 à 90 fois. A des degrés variables ceci résulte de l'accumulation de matériaux de réserve non vivants. Quand ils ont atteint leur taille complète, les œufs de mammifères placentaires mesurent de 60 à 90 μ de diamètre, les œufs de rongeurs étant parmi les plus petits (figure 24). Très occasionnellement on trouve des œufs géants qui sont 30 à 40 pour cent plus gros en diamètre que les normaux, on en a vu chez le lapin, le rat, la souris et le «cotton-rat» (figure 38). L'œuf du chat australien indigène, *Dasyurus*, est de dimension notablement plus élevée, soit 240 μ de diamètre, mais les œufs de mammifères de beaucoup les plus gros sont ceux ces monotrèmes ovipares, l'échidné, *Tachyglossus*, et l'ornithorhynque, chez lesquels l'œuf à l'ovulation mesure 3,5 à 4 mm de diamètre. Les œufs d'oursin (*Arbacia*) sont de la même taille que les œufs de rongeurs (74 μ de diamètre moyen). Pour comparaison, les œufs de poissons varient entre 400 μ et 150 mm et les œufs de grenouilles entre 700 μ et 10 mm [8]. D'un autre côté, l'œuf ovale du nématode parasite *Ascaris* a des diamètres d'environ 60 et 45 μ et celui du trématode *Clonorchis* seulement 28 et 14 μ.

Les œufs des mammifères placentaires, avec des volumes variant entre 100 000 et 3 millions de μ^3 et ceux de *Dasyurus* avec un volume d'environ 7×10^6 μ^3 sont très gros par rapport à la plupart des cellules des tissus dont le volume varie de 200 à 15 000 μ^3. Un neurone moteur d'un grand mammifère, cependant, aurait un volume de l'ordre de 10^7 μ^3, surtout à cause de la grande longueur de l'axone. Les plus petites cellules de mammifères sont probablement les globules rouges et les spermatozoïdes, dont les volumes sont d'environ 100 μ^3 et 30 μ^3 respectivement.

STRUCTURE DU NOYAU DE L'ŒUF DE MAMMIFÈRE

Le noyau de la cellule germinale jeune, en préparation histologique, présente un fin réticulum, avec des granules chromatiques dispersés, et un ou deux nucléoles. Le noyau de l'ovocyte est au début analogue, mais, bientôt, il subit une série de modifications faisant partie de la prophase de la première division méiotique. Cependant la méiose ne se produit pas, mais le noyau passe à un état de repos prolongé qui persiste jusqu'au début de la maturation, à la puberté ou plus tard. Quand se produit le grand accroissement de l'ovocyte, le noyau grandit aussi et atteint une taille relativement énorme (figures 1 et 43) — environ 18 000 μ^3 pour l'œuf de rat, plus gros que le volume total de la plupart des cellules des tissus. Un trait distinctif du noyau de l'ovocyte, à ce stade, est le gros nucléole, près duquel il existe une forte concentration d'acide désoxyribonucléique (ADN) (figure 1). Ce fait peut probablement être attribué à l'agrégation de régions hétérochromatiques, partiellement condensées, des chromosomes. Le nucléole de l'ovocyte contient peu ou pas d'acide ribonucléique (ARN) que l'on trouve dans la plupart des nucléoles des cellules des tissus.

La maturation comporte la réduction du nombre des chromosomes de moitié; cela se produit au cours des deux divisions méiotiques. A un stade plus avancé de la prophase, les chromosomes, déjà disposés en paires homologues, sont manifestement clivés chacun en deux unités, les chromatides, mais chaque chromosome ne comporte qu'un centromère. Le «crossing-over» entre parties de chromosomes homologues se produit à ce moment, permettant un réarrangement du matériel génétique. Les membres, modifiés, des paires de chromosomes se séparent et se rendent aux deux pôles opposés du fuseau, un des groupes passant dans le premier globule polaire. Les chromosomes se regroupent alors immédiatement sur le second fuseau méiotique. En règle générale, la seconde division méiotique est arrêtée en métaphase et s'achève seulement après l'ovulation et la pénétration du spermatozoïde. Au moment de cette reprise d'activité, les centromères se divisent et les chromatides de chaque chromosome se séparent, la moitié passant dans le second globule polaire, les chromatides deviennent ainsi les chromosomes de la nouvelle génération.

A la suite de l'entrée du spermatozoïde, la tête de celui-ci et le groupe de chromosomes de l'œuf vont se transformer en noyaux, connus sous le nom de pronuclei mâle et femelle respectivement. Il y a une hydratation apparente de la tête et un groupement des chromosomes de l'œuf (figure 3, les chromosomes du globule polaire placés à la partie inférieure du plan focal sont aussi visibles). Dans chaque masse, les nucléoles font leur apparition et bientôt se forme une membrane nucléaire. Une mise au point détaillée sur la fécondation se trouve dans une revue récente [7].

Les pronuclei contiennent un, ou souvent plusieurs, nucléoles suspendus dans un milieu liquide, le nucléoplasme (figures 4, 23, 31, 32 et 33). Leur nombre peut souvent être plus grand que le nombre haploïde de chromosomes de l'animal; dans les pronuclei mâles des œufs de rat, par exemple, on a trouvé jusqu'a 35 nucléoles, bien que le nombre haploïde du rat soit seulement 21. Ceci doit signifier que des matériaux nucléolaires peuvent s'accumuler, en quantités visibles, en d'autres lieux que l'organisateur nucléolaire présent sur certains chromosomes, ou qu'il existe plus d'un organisateur nucléolaire par chromosome, ou encore que les nucléoles peuvent se détacher de leur lieu de formation, en laissant la position libre pour le développement de nouveaux nucléoles.

Les œufs les plus gros tendent à avoir des pronuclei relativement plus petits, probablement parce que les œufs les plus gros possèdent davantage de vitellus. Ainsi le rapport du volume des pronuclei au volume cytoplasmique, au maximum de croissance des pronuclei, est 1/25 pour l'œuf de rat et 1/88 pour l'œuf de lapin. Comme dans les autres cellules, il doit exister une relation directe entre la taille du noyau et la masse de cytoplasme actif. La taille des nucléoles, relativement à celle des pronuclei, diffère aussi entre les différents œufs. Dans l'œuf de rat vivant, le volume total des nucléoles est approximativement 1/10ème de celui des pronuclei; dans l'œuf de lapin, par contre, le rapport est seulement 1/100ème. Des observations sur les œufs vivants d'autres rongeurs et sur des œufs fixés de mammifères variés montrent que les petits œufs ont des nucléoles relativement gros et les gros œufs souvent de petits nucléoles (comparer les figures 31, 32 et 33). On pense généralement qu'une grande taille des nucléoles est liée à une grande activité de synthèse protéique.

Les études sur les œufs centrifugés montrent que la densité des nucléoles est plus élevée que celle des autres composants du pronucleus. Les nucléoles du pronucleus contiennent principalement des protéines basiques et des phospholipides, et peu ou pas d'acide nucléique. Ils contiennent des phosphatases acides et des inclusions de mucopolysaccharides qui selon certains auteurs passent dans le cytoplasme, en tant que produits spécifiques de la synthèse nucléaire [15].

Le nucléoplasme dans les pronuclei des œufs vivants, observés au microscope à contraste de phase, est sans structure, bien qu'il doive être occupé par les chromosomes déspiralisés. Des concentrations moyennes d'ADN sont faciles à mettre en évidence dans les pronuclei jeunes; il est uniformément distribué dans le nucléoplasme (figure 4). La quantité d'ADN dans chaque pronucleus est la moitié de celle trouvée dans les noyaux cellulaires des tissus; en effet, l'ADN est le constituant caractéristique des chromosomes et les pronuclei contiennent la moitié du nombre somatique de chromosomes (comme l'œuf le spermatozoïde perd la moitié de sa garniture chromosomique au cours de la maturation). Pendant la croissance des pronuclei, la concentration en ADN diminue, car la quantité totale reste constante. Plus tard dans la vie des pronuclei, cependant, une quantité supplémentaire d'ADN s'accumule dans chaque pronucleus; le nouveau matériel est synthétisé à partir d'un substrat cytoplasmique que l'on pense comporter un mucopolysaccharide et un phosphatide acétylé [15].

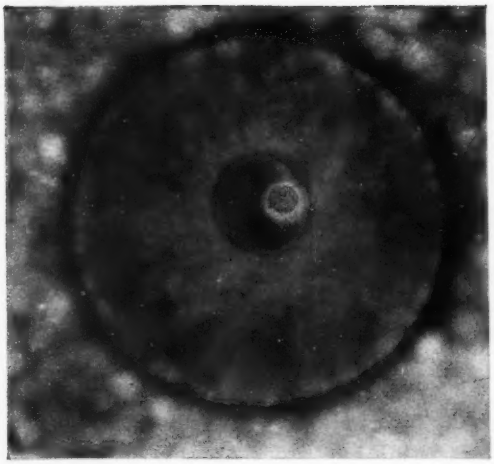


FIGURE 1 – *Ovocyte primaire, entouré des cellules du cumulus oophorus.*

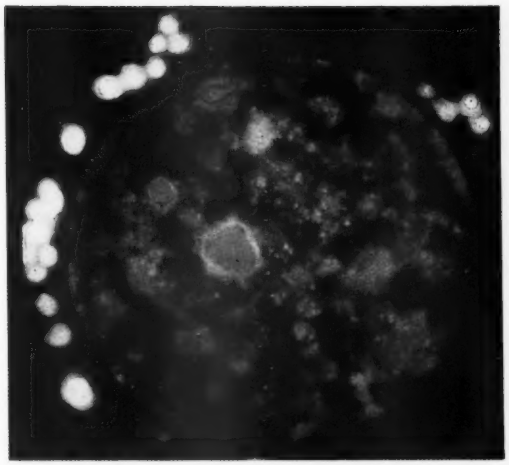


FIGURE 2 – *Ovocyte secondaire (œuf tubaire non-fécondé). Chromosomes fluorescents verts sur le fuseau de deuxième division méiotique.*

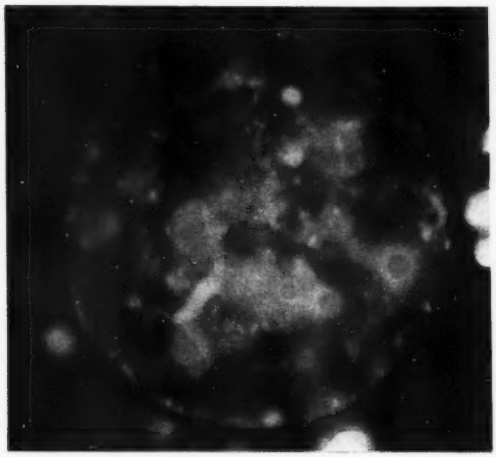


FIGURE 3 – *Début de fécondation. Tête du spermatozoïde et groupe télophasique des chromosomes fluorescents verts.*

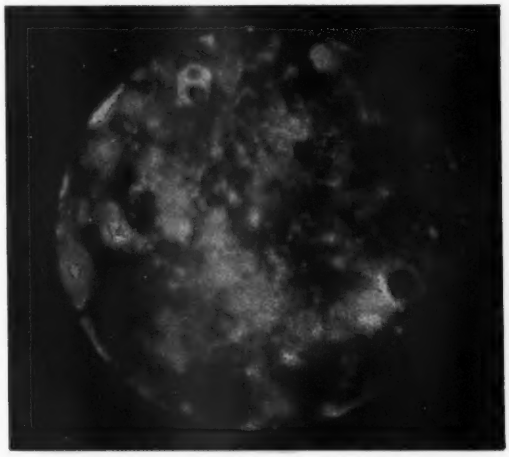


FIGURE 4 – *Stade des pronuclei. Le pronucleus femelle est au-dessus, le mâle au-dessous et à droite.*

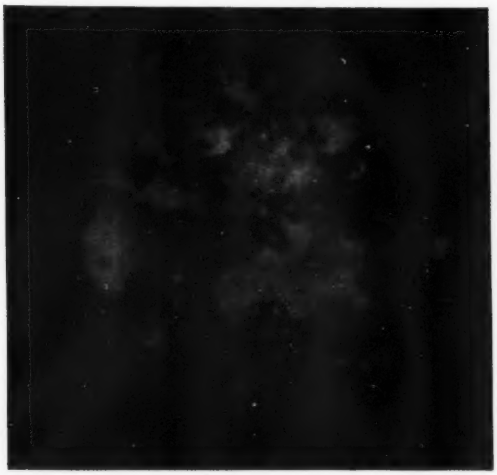


FIGURE 5 – *Stade à deux cellules. Noyaux et groupe de chromosomes du globule polaire montrant une fluorescence verte.*

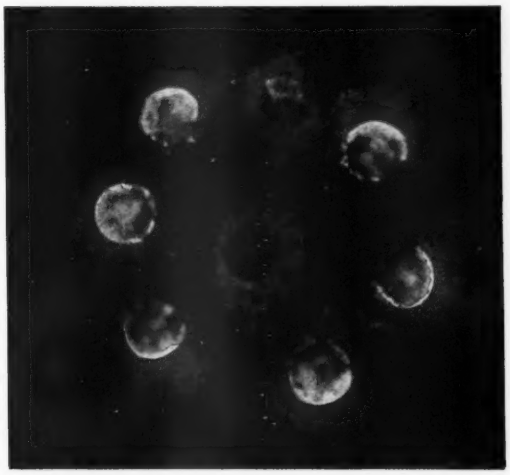


FIGURE 6 – *Stade à huit cellules. Les granules cytoplasmiques agrégés montrent une fluorescence rouge.*

FIGURES 1–6 – *Stades de développement d'œufs vivants de rat montrant la fluorescence induite par traitement à l'orange d'acridine (ca × 500; les œufs sont un peu aplatis par la lamelle).*

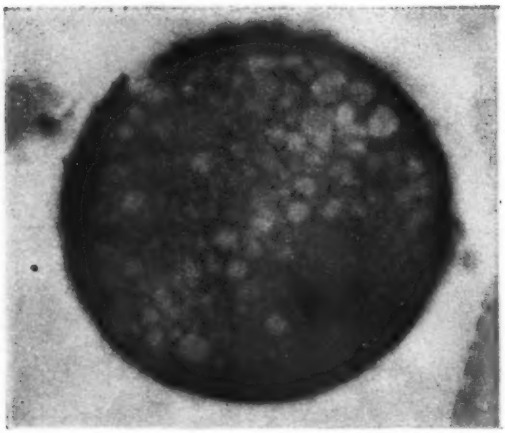


FIGURE 7 – *Ovocyte secondaire, montrant les chromosomes de seconde division méiotique.*

FIGURE 8 – *Syngamie. Globules de graisse colorés.*

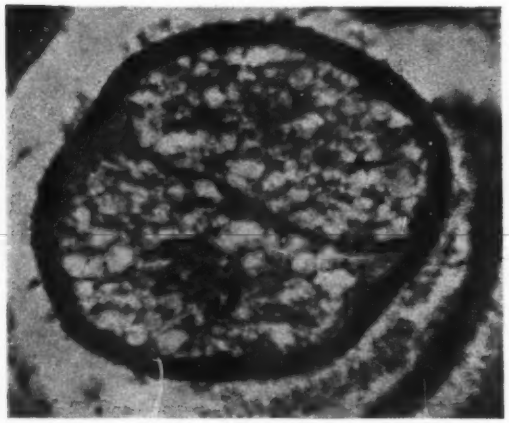


FIGURE 9 – *Stade à deux cellules avec un 2ème fuseau de segmentation.*

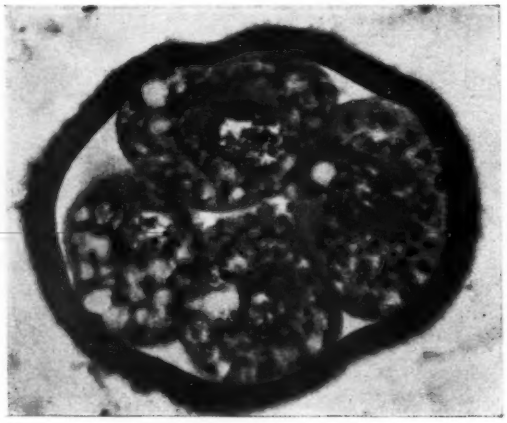


FIGURE 10 – *Stade à quatre cellules.*

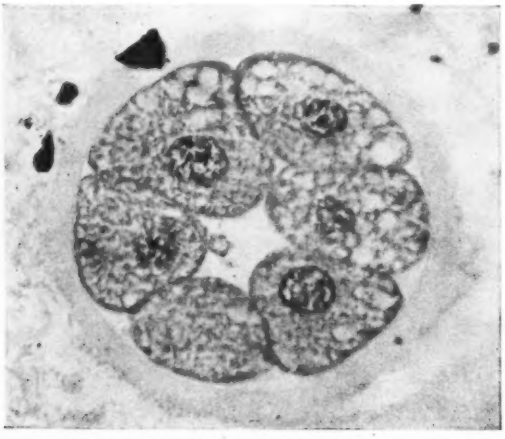


FIGURE 11 – *Stade à huit cellules. On ne voit ici que 6 des blastomères.*

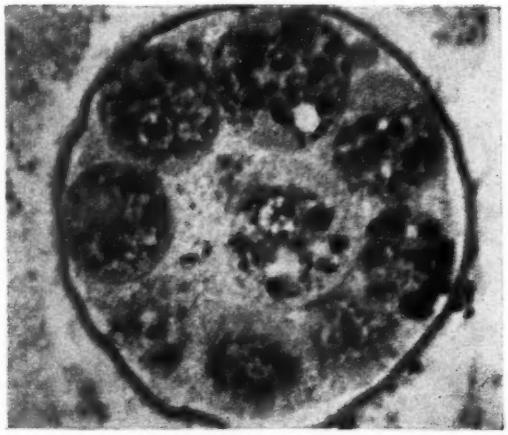


FIGURE 12 – *Morula. Globules de graisse colorés.*

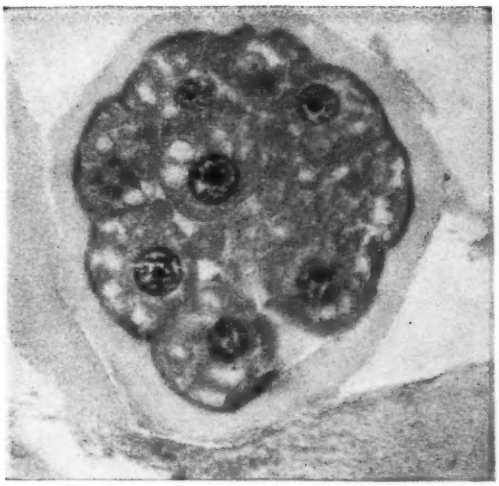


FIGURE 13 – *Morula.*

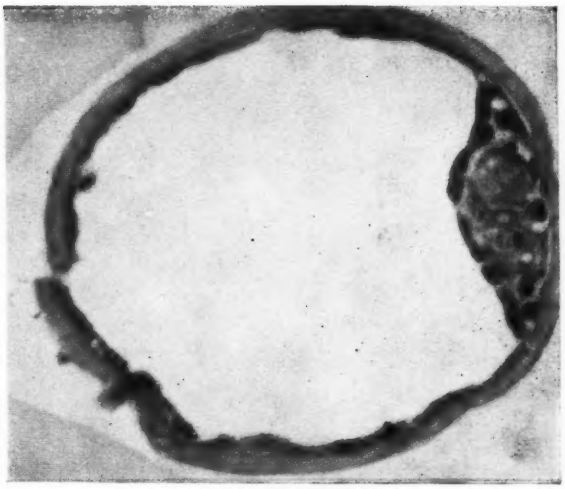


FIGURE 16 – *Blastocyste.*

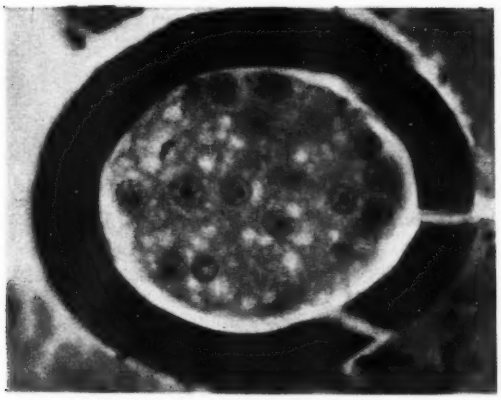


FIGURE 14 – *Morula.*

FIGURE 17 – *Blastocyste.*

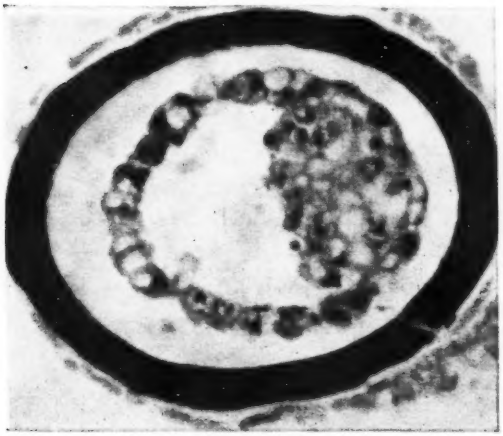


FIGURE 15 – *Blastocyste.*

FIGURES 7–17 – *Coupes colorées d'œufs de chat.* (*Figures* 7–14 × 700; *figure* 15 × 550; *figure* 16 × 450, *et figure* 17 × 270.)

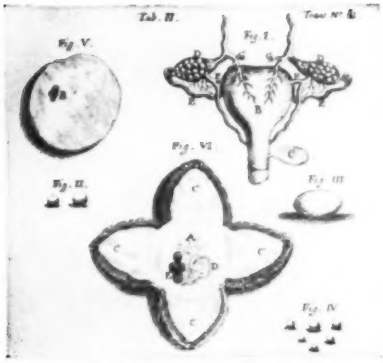


FIGURE 18 – «*Œufs trouvés dans toutes sortes de femelles*» (*Kerckring*, 1672).

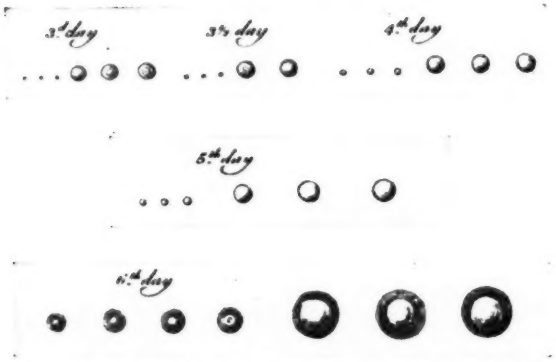


FIGURE 19 – *Œufs de lapin, grandeur naturelle et grossis* (*Cruickshank*, 1797).

FIGURE 20 – *Partie légèrement grossie d'une planche de von Baer, publiée en* 1827. *Ligne supérieure, taille naturelle; ligne moyenne,* × 10; *ligne inférieure,* × 30.

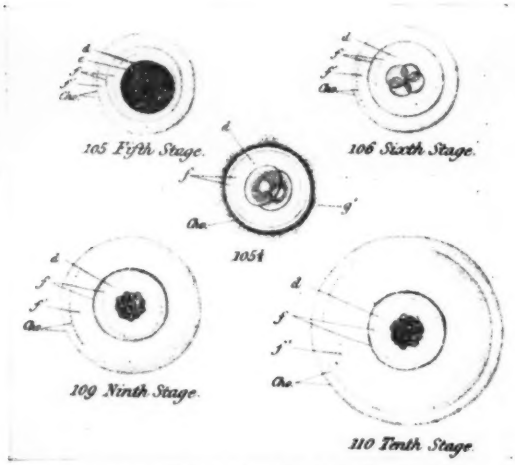


FIGURE 21 – *Œufs de lapin dessinés par Barry en* 1839.

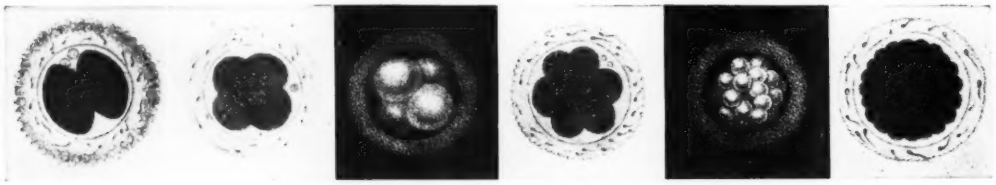


FIGURE 22 – *Œufs de chien décrits par Bischoff en* 1845.

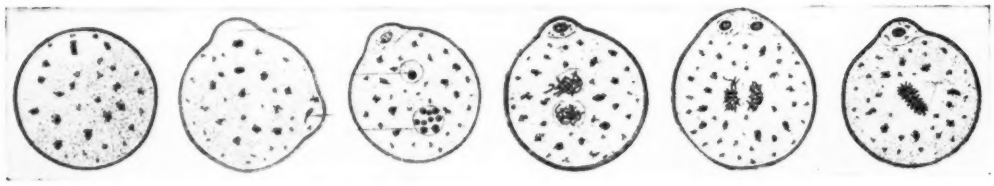


FIGURE 23 – *Fécondation de l'œuf de souris, suivant Sobotta*, 1895.

Ainsi les pronuclei contiennent à eux deux, deux fois autant d'ADN qu'un noyau cellulaire des tissus. L'accroissement en ADN est attribuable au redoublement des chromosomes qui se produit à ce moment. Quand l'œuf fécondé se divise pour donner le stade 2, chaque nouveau noyau contiendra autant d'ADN et de chromosomes qu'un noyau cellulaire des tissus.

L'un des pronuclei peut être notablement plus gros que l'autre. Chez le rat et la souris, le volume du pronucleus mâle est environ 2½ fois celui du pronucleus femelle (figure 43). Une explication satisfaisante de ce phénomène, plutôt curieux, nous fait encore défaut. Chez certains autres animaux, comme le lapin et la mérione de Lybie, *Meriones libycus* (figures 32 et 31) il existe aussi une disparité visible de taille, mais pour ces animaux il n'est pas établi si c'est le pronucleus mâle ou femelle qui est le plus gros. Quelquefois les pronuclei sont de taille presque égale, comme chez le hamster doré, *Mesocricetus auratus* (figure 33).

La membrane nucléaire des cellules de tissus apparaît double, sauf aux «pores», où existe une membrane simple. Des photographies au microscope électronique d'ovocytes d'oursins [1] révèlent aussi cette structure double et ces pores. Il est certain que les produits de la synthèse nucléaire peuvent passer dans le cytoplasme à travers les pores [2]. On a vu également les nucléoles d'ovocytes d'amphibiens et de mammifères sortir dans le cytoplasme, c'est probablement une forme différente du même phénomène. La formation de vésicules dans la membrane du noyau isolé au stade 2, montrée par la figure 34 est en accord avec l'idée que la membrane est composée de deux couches.

La segmentation de l'œuf fécondé commence quand la mitose atteint la télophase, et peu après sa réalisation, les noyaux se reforment à partir des groupes de chromosomes. Comme dans la genèse du pronucleus femelle, les nucléoles se développent à l'intérieur de chaque groupe de chromosomes quand ceux-ci s'effacent et une membrane nucléaire apparaît.

Ressemblant aux pronuclei, les noyaux des cellules au stade 2 ont habituellement plusieurs nucléoles. La répartition de l'ADN y est aussi semblable, sauf qu'il en existe une concentration légèrement plus forte immédiatement autour de chaque nucléole (figure 5). Au cours de la segmentation, aux stades 4, 8, 16 cellules, les noyaux diminuent progressivement de taille (à peu près de moitié à chaque stade) et les nucléoles deviennent moins nombreux (figure 43). En même temps la concentration en ADN autour des nucléoles s'accroît très fortement (figure 6); la disposition devient donc semblable à celle de la chromatine associée au nucléole, décrite par Caspersson comme faisant partie du système de synthèse des protéines des cellules somatiques en croissance active ou des cellules sécrétrices. Mais il y a deux différences importantes: les nucléoles du stade 8 paraissent posséder peu ou pas d'acide ribonucléique (ARN) et le cytoplasme n'a pas la haute concentration caractéristique en cet acide nucléique. Ces conditions se réalisent plus tard dans l'embryon implanté; jusqu'à l'implantation, la synthèse intense des protéines n'est évidemment pas une fonction des embryons en segmentation. Si une synthèse se fait réellement dans le noyau au cours de la segmentation, elle concerne la production d'ADN nécessaire au maintien de la quantité diploïde à chaque stade de la segmentation.

LE CYTOPLASME

Le cytoplasme de l'œuf, comme celui de la plupart des autres cellules du corps est fait de substance vivante ou protoplasme et de matériaux nutritifs non vivants constituant le vitellus. Le protoplasme d'une cellule typique du corps est constitué principalement par le réticulum endoplasmique ou ergastoplasme et par de nombreux petits organites, parmi lesquels les mitochondries (qui contiennent la plupart des systèmes enzymatiques), l'appareil de Golgi et le centrosome. De petites particules, les microsomes et les structures voisines, avec lesquelles l'ARN semble être presque exclusivement associé sont, en général, parties intégrantes de l'ergastoplasme. Les microphotographies électroniques des œufs d'oursins montrent un schéma d'organisation similaire [1] et on peut raisonnablement l'étendre aux œufs de mammifères.

Le vitellus prend différentes formes chez les différents mammifères. La masse du vitellus des œufs de monotrèmes est très importante et ressemble à celle de l'œuf de poule; le futur embryon est représenté par un petit disque germinatif à la surface du vitellus (figure 24). Chez le chat indigène australien *Dasyurus* [17], et le tatou *Dasypus* [19], la plus grande part du vitellus est rassemblée dans une région bien délimitée, à un pôle de l'œuf; chez *Dasyurus*, le vitellus, au stade 2, forme un troisième corps et garde cette forme durant le début de la segmentation (figure 24). Le vitellus des œufs des placentaires est dispersé dans l'œuf, soit sous la forme de nombreuses grosses gouttelettes de corps gras (comme dans l'œuf de chat (figures 8 et 12) et à un degré moindre dans l'œuf

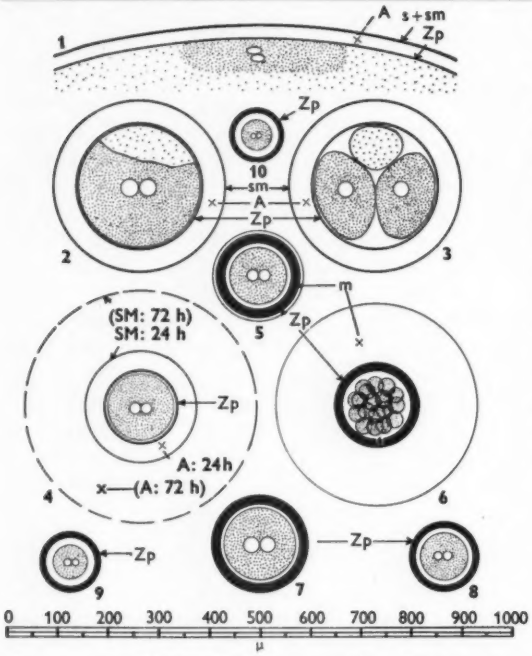


FIGURE 24 – *Tailles d'œufs de mammifères. Stade des pronuclei, sauf les Nos.* 3 *et* 6. (1) *Echidné,* Tachyglossus. (2) *et* (3) *Chat australien indigène* Dasyurus. (4) *Opossum américain,* Didelphis, 24 *heures après le coït; disposition de la membrane coquillière et de la couche d'albumine à* 72 *heures indiquée.* (5) *et* (6) *Lapin, respectivement* 10 *heures et* 72 *heures après l'ovulation.* (7) *Mouton.* (8) *Homme.* (9) *Hamster doré,* Mesocricetus auratus. (10) *Campagnol,* Microtus agrestis. *A = Couche d'albumine. M = couche mucoprotéique. S = Coquille. SM = membrane coquillière. Zp = Zone pellucide.*

de cobaye (figure 36), de chauve-souris (figure 27) et de plusieurs autres mammifères) ou sous la forme de granules, de particules ou de minuscules agglomérats. Quelquefois la distribution est irrégulière et l'œuf possède une polarité nette. En général les œufs les plus petits contiennent le moins de vitellus. Beaucoup d'œufs diffusent vers l'espace périvitellin des masses granulaires de matériel vitellin particulièrement durant la segmentation; ceci est très net chez l'opossum *Didelphis* [16].

Dans les œufs de grenouille et d'oursin, il existe des réserves cytoplasmiques d'ADN très importantes, qui doivent fournir l'ADN nécessaire aux stades successifs de la segmentation. On n'a pas encore détecté d'ADN dans le cytoplasme des œufs de mammifères et donc l'acide nucléique présent doit être considéré comme de l'ARN seul. Chez le rat, la distribution est plus ou moins uniforme dans l'ovocyte primaire, dans l'œuf pendant la fécondation et dans l'embryon au stade 2, mais aux stades suivants de la segmentation, l'ARN tend à se localiser autour des noyaux. La quantité totale de cet acide est d'ailleurs très basse, jusqu'à l'implantation de l'embryon. Des accumulations plus importantes caractérisent les blastomères qui formeront plus tard la masse cellulaire interne du blastocyste [15]. L'absorption dans l'ultra-violet d'œufs vivants, montre que les concentrations plus élevées d'ARN apparaissent en même temps que des éléments granulaires du cytoplasme (figures 40 et 41); il est possible cependant que l'absorption soit due, au moins en partie, à la présence de mononucléotides, contenus très largement dans les mitochondries. La similitude entre la distribution des mitochondries et la distribution des granules fluorescents en rouge dans les œufs traités par l'orange d'acridine (figures 1–6) fait penser que, dans des conditions telles que celles qui existent dans les œufs de rat vivants, la fluorescence rouge est due à des mononucléotides [4].

Les centrosomes et les asters et fuseaux associés jouent un rôle important et facilement démontrable dans les œufs de beaucoup d'espèces de non-mammifères. A l'approche de la maturation, le centrosome et l'aster se divisent en deux parties qui se rendent aux pôles opposés du noyau, le fuseau achromatique se développe entre eux et ainsi se forme un amphiaster. Les chromosomes se disposent sur l'équateur du fuseau au début de la première division méiotique. Après l'expulsion du premier globule polaire, le centrosome et l'aster restant à l'intérieur de l'ovocyte se divisent à nouveau et donnent le fuseau de la deuxième division méiotique. Quand le second globule polaire est formé, normalement le centrosome et l'aster de l'ovule régressent. Le centriole, introduit par le spermatozoïde fécondant, est tenu pour responsable du développement du centrosome, de l'aster et du fuseau, nécessaires à la première division de segmentation. Ensuite, à chaque segmentation, la mitose est précédée de la division des centrosomes, descendants de celui qui est issu du centriole du spermatozoïde. Si cependant la pénétration du spermatozoïde ne se produit pas et si l'œuf est activé artificiellement, il peut apparaître un centrosome et un aster, dans le cytoplasme, qui assument les mêmes fonctions que celles normalement remplies par les dérivés du spermatozoïde. Ceci est le cas dans le développement parthénogénétique.

Dans les œufs de mammifères, les centrosomes et les asters sont plus difficiles à mettre en évidence, mais on a souvent signalé leur présence

dans les préparations histologiques. Les asters des œufs de mammifères ne semblent jamais être aussi grands ou bien développés que ceux des autres groupes animaux. Les fuseaux, cependant, sont nettement visibles, même dans les œufs vivants, quand on les examine au microscope à contraste de phase et l'on peut même parfois voir une indication de leur structure fibrillaire. Les fuseaux de métaphase, comme ceux de la première et de la seconde division méiotique (figures 26 et 28), et le fuseau de télophase avant expulsion du globule polaire (figure 25), ont une forme caractéristique en barillet ou en ellipse. Par contre, les fuseaux de télophase de segmentation et les fuseaux méiotiques après expulsion du globule polaire sont allongés et cylindriques (figures 9 et 27). Typiquement, une agrégation de granules en forme de disque, le «corps central» (figure 25) traverse le centre des fuseaux de télophase; sa signification est inconnue. Les chromosomes méiotiques sont relativement compacts et se trouvent principalement à l'intérieur des limites du fuseau; les chromosomes de segmentation sont plus étendus et débordent en dehors du fuseau (figure 29). Le groupe que montre cette figure est asymétrique à cause des très grands chromosomes sexuels du campagnol; en vue polaire (figure 30) on peut voir le grand chromosome X.

MEMBRANES DE L'ŒUF ET ENVELOPPES

Comme pour les cellules ordinaires, le cytoplasme de l'œuf est entouré par une membrane cytoplasmique, dont on peut raisonnablement supposer qu'elle possède les mêmes propriétés générales de perméabilité et de transport actif. En plus, la membrane cytoplasmique de l'œuf semble montrer des caractères spéciaux. Quand le spermatozoïde fécondant prend contact avec l'œuf, sa tête s'attache fermement à la surface et c'est le prélude de son absorption. Les spermatozoïdes suivants ne s'attachent pas et ne peuvent donc pénétrer. Cette modification de la réponse au contact des spermatozoïdes est le facteur principal qui empêche la polyspermie; mais on ne connaît pas le rôle précis joué, dans ce phénomène, par la membrane cytoplasmique.

L'œuf est entouré d'un mince espace périvitellin, limité vers l'extérieur par la zone pellucide transparente, membrane très développée chez les mammifères placentaires (figure 24). Elle est constituée de mucoprotéines [12] et semble dépourvue de structure, même à l'examen au microscope électronique. La zone pellucide est déposée autour du jeune ovocyte probablement par les cellules folliculaires qui l'entourent et qui émettent de fins trabécules, conservant une liaison avec la surface de l'ovocyte presque jusqu'à l'ovulation. Après l'ovulation, l'épaisseur de la zone pellucide, chez la plupart des mammifères, ne varie pas notablement jusqu'à l'expansion du blastocyste, moment où cette membrane s'atténue beaucoup. Pourtant chez le chat, l'apparence des œufs aux stades successifs suggère que l'épaisseur de la zone augmente durant la segmentation, avant l'expansion du blastocyste (figures 7–14). Dans l'interprétation de ces figures, il est nécessaire de tenir compte des effets de différents fixateurs sur la zone pellucide. Ceux contenant de l'acide acétique tendent à dissoudre la membrane et, suivant les conditions de la fixation, ils provoquent la raréfaction de sa substance comme dans les figures 11 et 13, ou la diminution de son épaisseur, comme dans la figure 12. Le matériel additionnel est probablement de même composition et probablement fourni par l'activité sécrétrice de la trompe de Fallope. Ce phénomène ressemble un peu au dépôt d'une couche d'albumine ou de mucine qui, comme nous le dirons plus tard, caractérise les œufs de quelques mammifères.

Quand un spermatozoïde passe à travers la zone pellucide, il laisse une trace étroite que l'on peut attribuer à l'action d'un agent lytique apporté par l'acrosome [3]. Une autre pénétration de la zone pellucide se produit à un stade plus tardif; juste avant l'implantation, de longs prolongements cytoplasmiques mobiles partent des cellules du trophoblaste, au pôle du blastocyste opposé à l'embryon, et sortent à travers la zone [10]. On croit que ces prolongements assurent le début de l'implantation, en établissant un contact avec l'endomètre. Leur passage à travers la zone pellucide pourrait bien dépendre de l'action d'un agent lytique, analogue à celui qu'apporte le spermatozoïde.

Chez la plupart des mammifères étudiés, la zone pellucide devient impénétrable aux spermatozoïdes après l'entrée du premier. Cette modification est connue sous le nom de réaction de la zone, on pense qu'elle est induite par une substance issue du cortex de l'œuf, en réponse au contact du spermatozoïde. Celle-ci modifie les propriétés de la zone pellucide et la rend résistante à l'action de l'hypothétique agent lytique. Dans l'œuf de hamster, la disparition de granules corticaux distincts (marquée par la perte de réfringence de la surface, figure 37) semble liée avec l'élaboration de la substance modificatrice de la zone pellucide. La réaction de la zone contribue à protéger l'œuf contre la polyspermie.

Quand l'œuf quitte le follicule de Graaf à l'ovulation, il est accompagné de beaucoup de cellules folliculaires enrobées dans une matrice d'acide hyaluronique (figure 35). Ce revêtement, le cumulus oophorus, persiste en l'absence de coït environ 12 heures chez certains animaux (le lapin et les rongeurs) mais peut-être seulement une heure ou deux chez d'autres (les ongulés). Quand le cumulus persiste, il représente une barrière possible à l'entrée des spermatozoïdes et il est probable que l'enzyme (hyaluronidase), que ceux-ci contiennent, les rend capables de se frayer un chemin à travers le cumulus.

Chez quelques animaux, les œufs s'entourent d'une épaisse couche d'albumine ou de mucine pendant leur passage dans la trompe de Fallope (figure 24). De plus, les œufs de monotrèmes sont recouverts d'une membrane coquillière résistante; dans l'utérus, ils reçoivent davantage d'albumine et finalement une coquille dure. Chez les marsupiaux, *Setonix* [22], *Dasyurus* [17] et *Didelphis* [16], un peu de matière albumineuse s'ajoute dans l'utérus et ces œufs ont aussi une membrane coquillière. Chez les mammifères placentaires, seul le lapin est connu pour posséder dans sa trompe un mécanisme de dépôt d'une enveloppe d'albumine ou de mucine autour de l'œuf (figures 21 et 24); dans cette espèce, il s'agit d'une mucoprotéine [12]. On pense que chez le lapin, il s'ajoute dans l'utérus une couche postérieure, d'un matériel un peu différent [11]. La couche de mucine de l'œuf du lapin commence à se déposer 7 à 8 heures après l'ovulation et, comme elle est imperméable aux spermatozoïdes, on croit que son dépôt est le principal facteur limitant la vie fertile des œufs.

Les trois formes d'enveloppes décrites — la zone pellucide, le cumulus oophorus et la couche de mucine — sont, au moins chez le hamster, le rat et le lapin, perméables aux corps dissous de grand poids moléculaire [6].

VITALITÉ DE L'ŒUF

En comparaison des œufs d'animaux ovipares, les œufs de marsupiaux et de mammifères placentaires jouissent d'une grande protection et ont donc beaucoup plus de chances de donner des embryons normaux. Néanmoins, on connaît de nombreuses circonstances, ainsi que des agents physiques et chimiques, qui peuvent empêcher la production d'œufs normaux ou leur développement, sans nécessairement provoquer une atteinte de l'organisme maternel ou sa mort.

L'ovule ou le spermatozoïde peuvent apporter des gènes létaux et si le même allèle est présent dans les deux cellules, l'embryon résultant dégénère, avant de pouvoir accomplir son développement. Il se produit parfois aussi des mutations létales dominantes, qui empêchent le développement total de l'embryon. On rapporte souvent la production des mutations létales dominantes à l'effet des radiations ionisantes qui peuvent provenir du milieu naturel, ou dériver de sources artificielles. L'irradiation aux rayons X est spécifiquement nocive aux cellules germinales et chez certains animaux, notamment la souris, l'irradiation de la totalité du corps peut stériliser les ovaires sans porter atteinte aux chances de survie de l'animal [20].

La mort à l'état embryonnaire peut être aussi attribuable à des anomalies du phénomène complexe de la fécondation. Quelquefois le pronucleus mâle ne remplit pas sa fonction et le pronucleus femelle fournit seul les chromosomes au fuseau de la première segmentation. Quand l'œuf se divise en deux cellules, les nouveaux noyaux contiennent chacun la moitié du nombre normal de chromosomes, et le développement qui débute ainsi a reçu le nom de «gynogenèse». D'autre part, le pronucleus femelle peut manquer et l'embryon commencer son développement avec seulement les chromosomes paternels, on a le phénomène d'«androgenèse». Les deux formes de développement semblent être incompatibles avec une vie embryonnaire prolongée. Parfois, en dépit des barrières protectrices, la polyspermie se produit; deux spermatozoïdes prennent part à la fécondation et ainsi l'embryon possède une garniture chromosomique triploïde. Ce fait empêche aussi le développement normal et l'on peut en dire autant des irrégularités du nombre chromosomique qui suivent les principaux troubles de la maturation de l'ovocyte [9].

Beaucoup de fonctions du tractus génital femelle sont étroitement contrôlées par une balance hormonale, et sont aussi affectées par l'état de santé et de nutrition de l'animal, aussi bien que par une gamme étendue de drogues. Les œufs et les jeunes embryons, cependant, jouissent d'une période de vie libre dans le tractus génital durant laquelle ils semblent échapper à la plupart de ces influences. Il existe pourtant des sensibilités spéciales et certains agents, comme la podophyllotoxine, sont plus nocifs à l'embryon menant une vie libre qu'à la plupart des autres cellules du corps [25].

L'indifférence de l'œuf aux modifications du milieu *in vivo* suggère que sa vitalité est suffisante

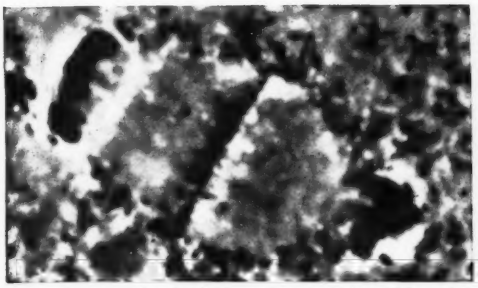


FIGURE 25 – *Début de télophase, fuseau de 1ère division méiotique (rat). Le corps central est très distinct.*

FIGURE 26 – *Métaphase, fuseau de seconde division méiotique (campagnol).*

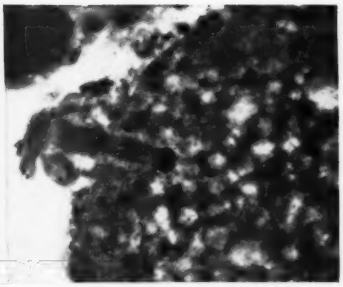


FIGURE 27 – *Fin de télophase, fuseau de seconde division méiotique (chauve-souris).*

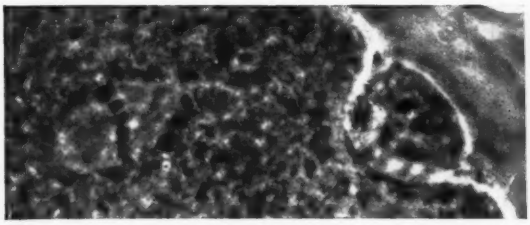
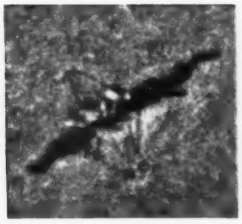
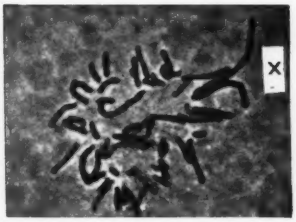
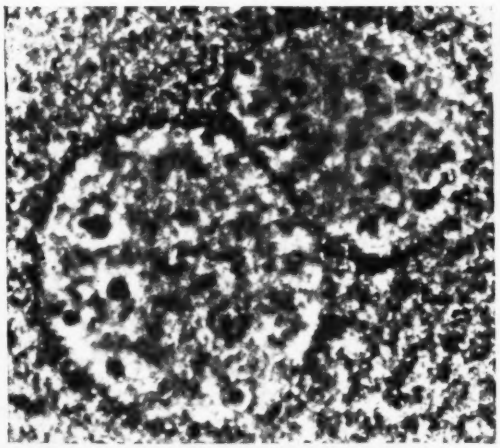


FIGURE 28 – *Premier globule polaire et fuseau de métaphase de seconde division méiotique (hamster doré).*





FIGURES 29 et 30 – *Fuseau de première division de segmentation (campagnol). X = Chromosome X.*



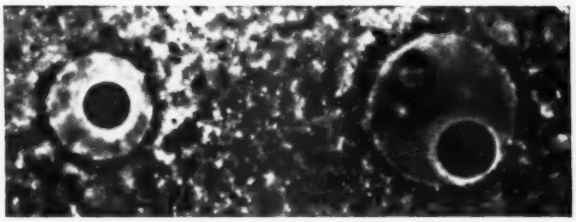
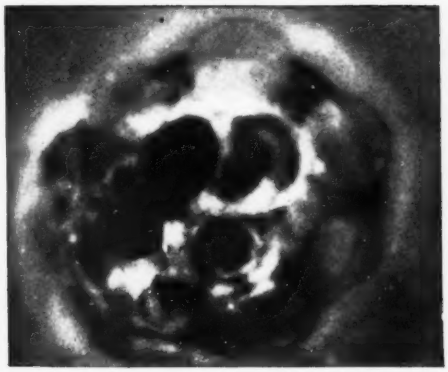


FIGURE 31 (*au-dessus*) – *Pronuclei de mérione lybienne.*

FIGURE 32 (*à gauche*) – *Pronuclei de lapin.*

FIGURE 33 (*au-dessous*) – *Pronuclei du hamster doré.*



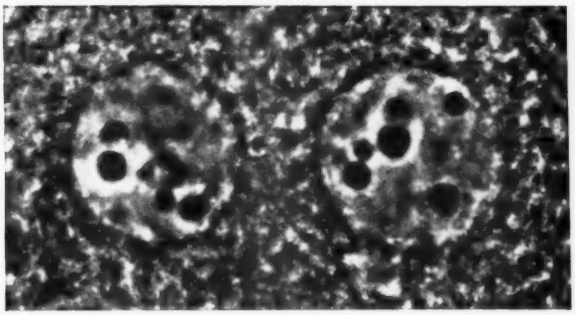


FIGURE 34 (*à gauche*) – *Noyau expulsé d'un œuf de rat rompu au stade 2. Les vésicules apparentes de la membrane nucléaire sont visibles.*

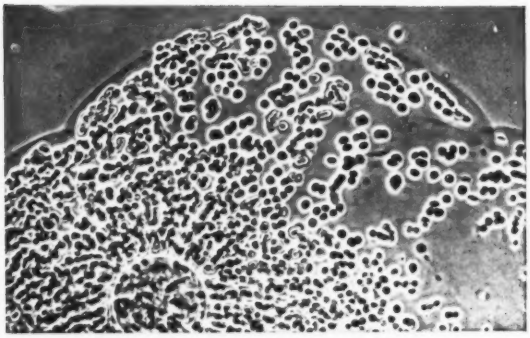


FIGURE 35 – *Œuf de rat entouré par le cumulus oophorus; cellules folliculaires enrobées dans une matrice d'acide hyaluronique.*

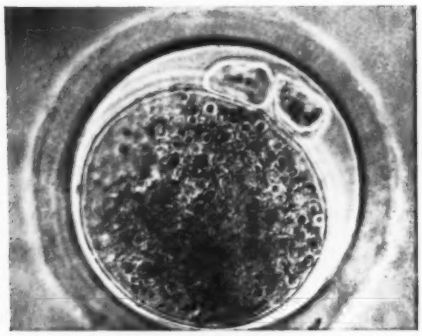


FIGURE 36 – *Œuf de cobaye pendant la fécondation. Noter les gouttelettes de vitellus dans le cytoplasme.*

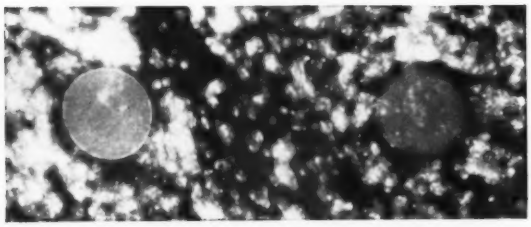


FIGURE 37 – *Perte de la réfringence à la surface d'un œuf de hamster lors de la pénétration du spermatozoïde (à droite).*

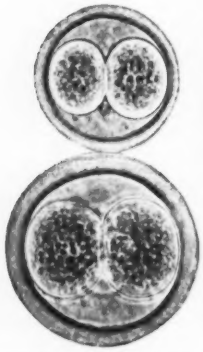


FIGURE 38 – *Œufs normaux et «géants» du «coton-rat».*

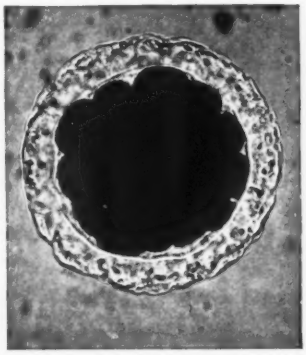


FIGURE 39 – *Morula de chien (cf. l'esquisse de Bischoff, figure 22).*

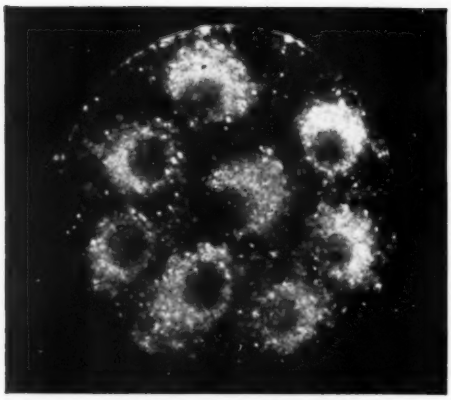


FIGURE 40 – *Stade 8 de rat vu en éclairage à fond noir, montrant la distribution des granules.*

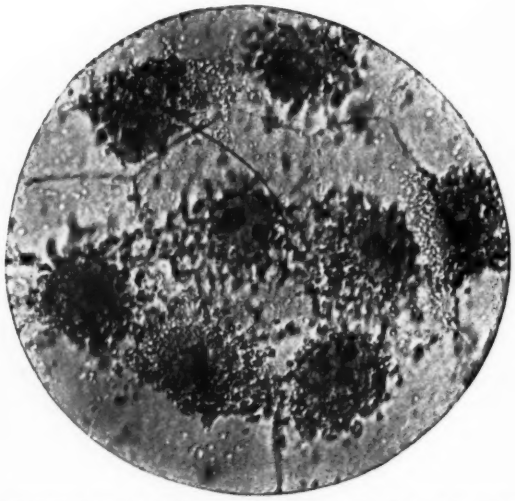


FIGURE 41 – *Absorption dans l'ultraviolet d'un œuf de rat au stade 8 montrant la distribution des acides nucléiques.*

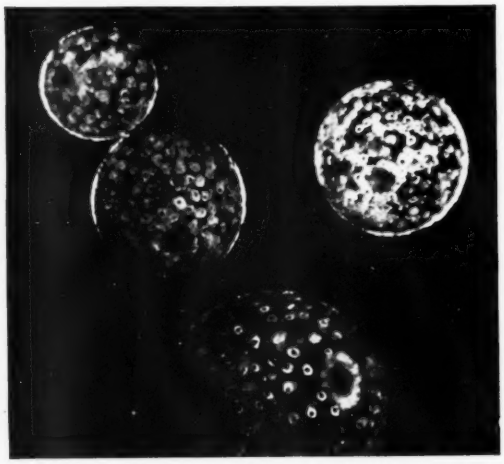


FIGURE 42 – *Blastocystes de chien, vus en éclairage sur fond noir.*

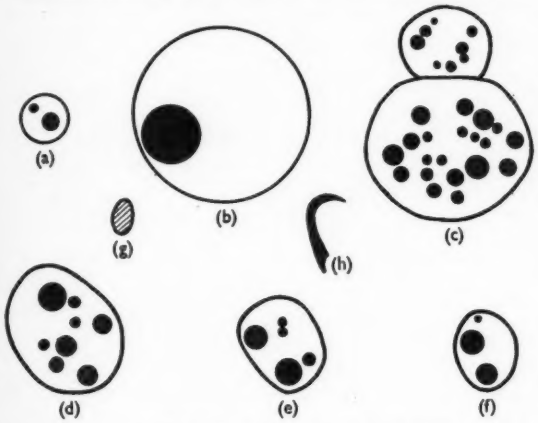


FIGURE 43 – *Tailles nucléaires de* (a) *l'ovocyte primaire jeune,* (b) *l'ovocyte primaire âgé,* (c) *l'œuf à un stade tardif de la fécondation,* (d) *du stade* 2, (e) *du stade* 4, (f) *du stade* 8, (g) *d'une cellule folliculaire et* (h) *du spermatozoïde* (*rat*).

pour supporter d'autres situations. Dans plusieurs espèces, les œufs, comme les ovocytes et les embryons jeunes, peuvent survivre après transfert dans le tractus génital d'un autre animal (voir Willett [26]). Les œufs non-fécondés de lapin peuvent tolérer le stockage *in vitro* à 10°, jusqu'à 96 heures [13], et les œufs fécondés de lapin ont souvent été cultivés *in vitro* pendant la segmentation et la formation du blastocyste. Des embryons de souris, mis en milieu de culture artificiel, se développent du stade morula au stade blastocyste [24], et, transférés à un animal hôte, donnent naissance à des petits normaux [18]. Les œufs de souris se sont aussi montrés capables de développement normal, même après maintien, sous la forme d'ovocytes isolés pris dans la trompe, à la température de −10°, pendant trois heures et demie [23], ou, à l'état d'ovocytes primaires dans des fragments excisés d'ovaire, à la température de −79°, pendant six semaines [21].

REMERCIEMENTS

Nous remercions Mr M. R. Young pour les photographies en couleur des œufs fluorescents (figures 1–6) rendues possibles grâce à une technique qu'il a mise au point, pour les photographies en couleur des coupes d'œufs (figures 7–17) et la photographie dans l'ultraviolet de l'œuf de rat de la figure 41. Nous devons aussi remercier le Dr Ruth Deanesly pour la coupe d'œuf de chauve-souris de la figure 27. Miss Heather Speer a dessiné les schémas des figures 24 et 43. Les figures 26, 29 and 30 sont reproduits au *Journal of Anatomy*, la figure 28 du *Journal of the Royal Microscopical Society*, et la figure 37 de *Experimental Cell Research*.

TECHNIQUES HISTOLOGIQUES

Figures 7, 10. Formol Zenker; Weigert H et E.
Figure 8. Flemming; hématoxyline Heidenhain.
Figure 9. Zenker; Heidenhain H et E.
Figures 11, 13. Formol Zenker avec acide acétique; trichrome Masson.
Figure 12. Formol Zenker avec acide acétique et traitement à l'osmium postérieur; hématoxyline Weigert.
Figures 14–17. Bouin; Weigert H et E.

RÉFÉRENCES

[1] AFZELIUS, B. «Electron Microscopy of Sea Urchin Gametes». Almqvist & Wiksell, Upsal. 1957.
[2] ANDERSON, E. et BEAMS, H. W. *J. biophys. biochem. Cytol., Suppl.*, **2**, 439, 1956.
[3] AUSTIN, C. R. et BISHOP, M. W. H. *Proc. roy. Soc., B.*, **149**, 241, 1958.
[4] *Idem. Exp. Cell Res.* (Sous presse.)
[5] AUSTIN, C. R. et BRADEN, A. W. H. *Aust. J. biol. Sci.*, **4**, 537, 1954.
[6] AUSTIN, C. R. et LOVELOCK, J. E. *Exp. Cell Res.*, **15**, 260, 1958.
[7] AUSTIN, C. R. et WALTON, A. Dans «Marshall's Physiology of Reproduction». A. S. Parkes (publié par). Vol. 1, partie 2. Longmans, Green & Co., Londres. 1959.
[8] BEATTY, R. A. Dans «Handbook of Biological Data». W. S. Spector (publié par), p. 123. W. B. Saunders Co., Philadelphie. 1956.
[9] *Idem.* «Parthenogenesis and Polyploidy in Mammalian Development». Cambridge University Press, Londres. 1957.
[10] BLANDAU, R. J. *Anat. Rec.*, **103**, 19, 1949.
[11] BÖVING, B. G. *Cold Spr. Harb. Symp. quant. Biol.*, **19**, 9, 1954.
[12] BRADEN, A. W. H. *Aust. J. sci. Res., B.*, **5**, 460, 1952.
[13] CHANG, M. C. *J. exp. Zool.*, **121**, 351, 1952.
[14] CORNER, G. W. «Lectures on the History of Medicine, 1926–32». Mayo Foundation Lectures, Philadelphie. 1933.
[15] DALCQ, A. M. «Introduction to General Embryology». Clarendon Press, Oxford. 1957.
[16] HARTMAN, C. G. *J. Morph.*, **27**, 1, 1916.
[17] HILL, J. P. *Quart. J. micr. Sci.*, **56**, 1, 1910.
[18] MCLAREN, A. et BIGGERS, J. D. *Nature, Lond.*, **182**, 877, 1958.
[19] NEWMAN, H. H. «The Biology of Twins». University of Chicago Press, Chicago. 1917.
[20] PARKES, A. S. «The Internal Secretions of the Ovary». Longmans, Green & Co., Londres. 1929.
[21] PARROTT, D. M. V. et PARKES, A. S. Dans «Sex Differentiation and Development». C. R. Austin (publié par); *Soc. Endocrin. Mem.*, 7, 1959.
[22] SHARMAN, G. B. *Aust. J. Zool.*, **3**, 56, 1955.
[23] SHERMAN, J. K. et LIN, T. P. *Proc. Soc. exp. Biol., N.Y.*, **98**, 902, 1958.
[24] WHITTEN, W. K. *Nature, Lond.*, **177**, 96, 1956.
[25] WIESNER, B. P. et YUDKIN, J. *Ibid.*, **176**, 249, 1955.
[26] WILLETT, E. L. *Iowa St. Coll. J. Sci.*, **28**, 83, 1953.

La théorie du phlogistique

par DOUGLAS McKIE

La théorie du phlogistique fut la première théorie générale de la chimie qui coordonnât des observations nombreuses et sans lien apparent. Bien qu'erronée, comme nous le savons aujourd'hui, elle a contribué matériellement aux premiers progrès de la chimie, et on en sous-estime souvent l'importance. On trouvera ici l'histoire des origines et du développement de cette théorie, jusqu'à son effacement définitif lorsqu'eurent été corrigées les erreurs de la «Chimie nouvelle» de Lavoisier.

Ceux qui aiment l'histoire de la chimie se sont toujours intéressés à la théorie du phlogistique. Ils ont de bonnes raisons: c'est une théorie des temps modernes, c'est-à-dire, postérieure à l'an 1500. C'est la première théorie générale de la chimie. Elle a été admise pendant près de cent ans, même par d'illustres chimistes du XVIIIe siècle, considérés aujourd'hui comme les fondateurs de notre science. Elle s'est révélée insuffisante, et on l'a donc abandonnée, il y a à peine 175 ans. Enfin, nous pouvons juger de son importance à la peine qu'a prise Lavoisier, en 1783 encore, d'en publier une étude critique minutieuse de trente quatre pages dans les «Mémoires de l'Académie Royale des Sciences»; ces «Réflexions sur le Phlogistique» ont une importance historique comparable à la réfutation de la théorie des tourbillons, de Descartes, que Newton a incluse dans ses *Principia*.

On peut en déceler vaguement l'origine dans les spéculations des anciens Grecs sur la composition de la matière. Empédocle, au Ve siècle avant Jésus-Christ, et Aristote au IVe, mettaient le feu au nombre des quatre éléments qui constituent le monde. Cet élément était manifestement libéré lors de la combustion, et souvent accompagné d'une flamme. Paracelse, au début du XVIe siècle, modifie un peu la théorie de la composition chimique de la matière, mais sans abandonner les quatre éléments. Il la complète en supposant que les constituants élémentaires les plus immédiats des substances, ceux que donnent l'analyse, sont les trois principes ou éléments «hypostatiques»: sel, soufre et mercure. Ainsi l'ancien élément feu survit sous la forme soufre, et il n'y a rien de changé aux croyances séculaires sur la composition de la matière.

L'idée d'un feu élémentaire, constituant des corps combustibles était donc depuis longtemps dans le cerveau des chimistes, prête à éclore; et encore aujourd'hui, il faut bien l'admettre, des gens peu instruits croient que la combustion est la libération d'un «feu» contenu dans le combustible.

Johann Joachim Becher (1635–82) devait préciser cette notion ancienne et vague. C'était un Allemand, né à Spire, qui enseigna quelque temps la médecine à l'Université de Mayence, mais qui préférait la chimie. C'est un personnage intéressant; il avait perdu son père pendant la guerre de Trente Ans. Tout jeune, il dut donner des leçons de lecture et d'écriture pour faire vivre sa mère, ses frères et lui-même, car la famille était ruinée; on le retrouve au travail à Munich, à Vienne, à Haarlem et en Cornouailles, où son activité a laissé des traces. Il est mort en 1682, croit-on à Londres. Becher a publié de nombreux livres. Dans sa *Physica Subterranea* parue pour la première fois à Francfort, en 1669, et rééditée ensuite, il rejette la théorie de Paracelse. Il considère qu'il y a trois éléments, l'air, l'eau et la terre; d'ailleurs l'air n'est qu'un instrument ou agent qui agite l'eau et la terre et leur permet de former des «mixtures» (nous dirions composés). Les portions relatives d'eau et de terre varient dans ces «mixtures», ce qui explique la diversité des substances constituant le monde. De plus il y a trois terres: premièrement, la *terra lapidea*, fusible et vitrifiable; deuxièmement, la *terra pinguis*, grasse, huileuse, combustible et sulfureuse, troisièmement la *terra fluida* ou *mercurialis*, fluide, subtile, volatile et mercurielle. Les métaux et substances minérales sont composés de ces trois terres en proportions variables. On reconnaîtra facilement, dans la *terra pinguis*, le vieil élément feu sous un nouveau déguisement; sous l'impulsion de Stahl, il allait devenir le principe ou élément de l'inflammabilité, baptisé phlogistique.

L'enseignement de Becher a eu peu d'influence sur la chimie jusqu'à son adoption par Georg Ernst Stahl (1660–1734), personnage bien plus important. C'était aussi un Allemand, né à Anspach, étudiant à Vienne, où il est reçu

médecin en 1684; ses travaux en biologie et en physiologie sont encore aujourd'hui aussi connus que sa contribution à la chimie. Friedrich Hoffmann, professeur de médecine à l'Université de Halle, l'invite à occuper l'autre chaire de médecine de Halle (1694–1716); plus tard il est médecin du roi de Prusse, Frédéric Guillaume 1er, père de Frédéric le Grand. Parmi ses nombreux livres, *Fundamenta Chymiae* est le plus important au point de vue chimique; il avait publié auparavant une réimpression de la *Physica Subterranea* de Becher, accompagné d'un volumineux commentaire appelé *Specimen Becherianum* (Leipzig, 1703); d'autres livres de chimie intéressants, tels que *Experimenta, Observationes*, etc. (Berlin, 1731), particulièrement utiles pour l'étude de la théorie du phlogistique, permettent d'apprécier l'étendue de ses études dans cette science.

Stahl adopte les idées de Becher, et les développe, insistant sur le fait qu'il y a libération de phlogistique dans toutes les combustions, puisque celui-ci se trouve dans tous les corps combustibles. Il est également libéré lors de la calcination des métaux, dont il est un principe commun. Les différences entre métaux viennent de la différence de leur «chaux». Le phlogistique est abondant dans les substances très combustibles comme le charbon, les huiles et les graisses; il est rare dans les substances moins combustibles. Stahl montre, de plus, que l'on peut revenir d'une chaux métallique au métal de départ par chauffage avec un corps riche en phlogistique, comme le charbon, ce qui prouve que l'on peut faire passer d'un corps à un autre le principe d'inflammabilité; il montre aussi que combustion et calcination sont deux transformations essentiellement similaires. Aussi Lavoisier salue-t-il, longtemps après, l'auteur de toutes ces découvertes comme l'un des patriarches de la chimie, qui aurait en quelque sorte révolutionné cette science.

FIGURE 1 – «*Le Docteur Phlogistique*», *portrait-charge de J. Priestley, dont la publication dans l'*Attic Review *prouve que le public cultivé avait au moins entendu parler de la théorie du phlogistique.*

Stahl supposait aussi que le phlogistique libéré lors de la combustion et de la fermentation passait dans l'atmosphère, et que par suite, l'air en contenait beaucoup. Il fallait une grande quantité d'air pour la combustion, car une petite quantité d'air ne pouvait absorber qu'une petite quantité de phlogistique. Le phlogistique passait de l'air dans les plantes, et de là chez les animaux, si bien qu'il y avait dans la nature un cycle du phlogistique qui était commun au règne animal, au règne végétal et au règne minéral.

La combustion du soufre donnant de l'huile de vitriol, il s'ensuit que le soufre est un composé de phlogistique et d'huile de vitriol; cette remarque suggère à Stahl une démonstration expérimentale qui lui semble probante de l'exactitude de sa théorie. La combustion du soufre donne de l'huile de vitriol par un alcali, le sel de tartre (carbonate de potassium), il convertit l'acide en tartre vitriolé (sulfate de potassium); il le chauffe alors avec du charbon de bois pulvérulent (composé essentiellement de phlogistique), traite le résidu solide par du vinaigre, et obtient du lait de soufre. Cette suite de transformations avait rendu à l'huile de vitriol le phlogistique éliminé lors de la première réaction, et avait ainsi reconstitué le corps de départ, le soufre.

Telle était la théorie du phlogistique à la mort de Stahl en 1734. Au cours des cinquante années

suivantes, elle s'est propagée hors d'Allemagne, et a été adoptée par les chimistes européens — Black, Priestley, Cavendish, Scheele, Bergman, Macquer, Guyton de Morveau, Berthollet, et Fourcroy — pour n'en citer qu'un très petit nombre. Mais les chimistes ont découvert beaucoup de choses pendant ces cinquante années, en particulier les «airs», comme ils appelaient alors les gaz. Ces découvertes s'incorporaient remarquablement bien à la théorie du phlogistique. Ainsi Cavendish, qui avait isolé l'«air inflammable» (hydrogène) en 1766, était convaincu que le gaz venait du métal, et non des acides avec lesquels le métal avait réagi; plus tard, de nombreux chimistes, dont Cavendish lui-même pendant un certain temps, ont pensé que cet «air inflammable» était le phlogistique libéré du métal. Encore plus tard, en 1783, une découverte de Priestley devait apporter à la théorie une nouvelle et puissante confirmation expérimentale: l'«air inflammable», passant sur des chaux métalliques chauffées, les ramène à leur état métallique initial. On avait rendu à la chaux métallique du phlogistique à l'état presque pur, et reconstitué le métal.

Priestley isole en 1774–75 un nouvel «air» appelé plus tard oxygène. C'est une des plus importantes découvertes de cette période, et elle a vite trouvé sa place au sein de la nouvelle théorie. Ainsi Priestley remarque que ce nouvel «air» accélère la combustion d'une chandelle ou d'autres corps combustibles et qu'il entretient la respiration animale bien plus longtemps que l'air ordinaire; c'est, dit-il bientôt, que l'air ordinaire est constamment contaminé par le phlogistique que dégage les feux, la fermentation, la putréfaction et la respiration, tandis que ce nouvel «air» a des propriétés qui prouvent manifestement qu'il n'est pas contaminé par du phlogistique. Aussi l'appelle-t-il «air déphlogistiqué».

La combustion et la respiration dans l'air ordinaire s'arrêtent au bout d'un certain temps, et laissent un résidu incapable de les entretenir; dans la respiration et dans certaines combustions, il fallait enlever par le lait ou l'eau de chaux l'«air fixe», que Joseph Black avait distingué de l'air ordinaire en 1754–56; mais on supposait dans tous les cas que le résidu gazeux final était l'air ordinaire saturé par le phlogistique libéré par la combustion ou la respiration; on l'avait nommé en conséquence «air phlogistiqué» (azote).

La théorie du phlogistique expliquait donc aisément ces faits nouveaux, mais elle était en contradiction apparente avec un fait expérimental ancien et incontestable, l'augmentation de poids qui accompagne la calcination des métaux, alors qu'il devrait y avoir libération de phlogistique. On n'avait pas encore énoncé explicitement le principe de la conservation de la masse dans les transformations chimiques, mais cependant les chimistes avaient du mal à admettre qu'une perte de substance s'accompagnât d'un gain de poids. On a proposé maintes explications ingénieuses pour rendre compte de cette anomalie apparente. Guyton suppose que le phlogistique est plus léger que toutes les substances connues; par sa présence dans les métaux, il les allège, et ceux-ci deviennent plus lourds lorsqu'il se dégage pendant la calcination. Certains lui attribuaient un poids négatif: il était repoussé du centre de la Terre vers la périphérie; la matière ordinaire était attirée par gravitation vers le centre, mais le phlogistique s'en éloignait.

Au cours d'une série de recherches commencées vers 1770, Lavoisier montra qu'on pouvait expliquer quantitativement le gain de poids des métaux calcinés, en admettant qu'ils se combinent avec une fraction, voisine du cinquième, de l'air ordinaire; cette fraction de l'air, qu'il appela dans la suite oxygène, avait une activité analogue dans la combustion et la respiration; l'autre fraction, environ quatre cinquièmes de l'air (appelé ensuite azote) était inactive vis-à-vis de ces trois phénomènes: elle éteignait le feu, et causait l'asphyxie; lorsque la combustion avait lieu dans l'oxygène, il n'y avait pas de résidu d'«air phlogistiqué», l'oxygène était consommé «jusqu'à la dernière goutte». Mais il mit presque dix ans à convaincre ses contemporains, et lorsqu'il attaqua la théorie du phlogistique, en 1783, il n'eut personne de son côté. Les chimistes avaient bien sûr de bonnes raisons de ne pas vouloir abandonner une théorie qui ordonnait toutes leurs connaissances en faveur d'une théorie nouvelle d'application limitée. Ils avaient un argument très simple, tiré de l'étude de la combustion de l'«air inflammable». Selon la théorie de Lavoisier, la combustion était une combinaison avec l'oxygène, mais ni lui-même, ni d'autres, n'avaient pu isoler le produit de la combustion. Aucune des deux théories ne valait mieux que l'autre, dans ce cas particulier, mais la théorie du phlogistique pouvait au moins expliquer la différence entre la réaction entre un acide et un métal qui libère de l'«air inflammable», et la réaction entre le même acide et la chaux métallique correspondante, où, bien sûr, il n'y a pas de dégagement d'hydrogène. Pour la théorie du phlogistique, un métal consiste en l'union de son produit de calcination avec du

phlogistique, et l'attaque par un acide libère l'«air inflammable» qui accompagne le dégagement de phlogistique, il ne pouvait pas y avoir de dégagement d'air inflammable dans le deuxième cas, parce que le métal calciné était le résidu après la perte du phlogistique. Lavoisier était incapable d'expliquer cette différence. La composition des acides était inconnue, et Lavoisier les considérait comme des oxydes; la composition de l'eau était également inconnue.

Cependant, en Juin 1783, Blagden était à Paris, où il venait fréquemment, et il apprit à Lavoisier que Cavendish avait obtenu de l'eau en faisant brûler un mélange d'«air inflammable» et d'«air déphlogistiqué». Il semble que Lavoisier ait réalisé la signification profonde de cette observation. Il voulut en faire instantanément une vérification grossière, et l'interpréta en disant que l'eau est un composé de ces deux gaz. On pouvait alors expliquer la différence entre les deux réactions mentionnées au paragraphe précédent, puisqu'on pouvait admettre que l'eau y participait. Dans la première, l'eau se décompose, son «air inflammable» se dégage, et son «air déphlogistiqué», ou oxygène, se combine au métal, pour donner la chaux métallique (on n'avait pas encore forgé le terme d'*oxyde*), qui s'unit à l'acide pour donner le sel; la seconde réaction n'est que la combinaison de la chaux métallique avec l'acide pour donner le sel. A partir de ce moment-là, Lavoisier commença à avoir des partisans, car il avait résolu une difficulté fondamentale de sa théorie.

Cependant, il restait d'autres phénomènes qui étaient loin d'être triviaux, et que la théorie du phlogistique expliquait mieux. Ainsi, il semblait y avoir deux catégories d'air inflammable; Lavoisier distinguait entre l'«air inflammable léger» (hydrogène) et l'air inflammable lourd (oxyde de carbone). On ignorait la composition de celui-ci; il donnait l'«air fixe» ou acide carbonique en brûlant. Cela posait un problème déconcertant à la théorie nouvelle, mais la théorie du phlogistique pouvait l'expliquer. Priestley lui-même en faisait un usage considérable. Il avait obtenu de l'«air inflammable» (oxyde de carbone) en chauffant des cendres de finerie (oxyde de fer) avec du charbon. Puisque la nouvelle théorie considérait l'«air inflammable» comme un constituant de l'eau, il ne pouvait se produire qu'en présence d'eau; Priestley ajoutait avec justesse que c'était la nouvelle théorie elle-même qui niait la présence d'eau dans ces corps: elle voyait dans les cendres de finerie un oxyde, composé seulement de fer et d'oxygène, et n'admettait pas qu'il y ait de l'eau dans le charbon, qui se formait à la température la plus élevée. Par contre, selon la vieille théorie, la cendre de finerie s'est imprégnée d'eau pour remplacer le phlogistique, et l'eau est un constituant de tous les «airs», si bien que l'«air inflammable» résulte de l'union de l'eau contenue dans la cendre de finerie avec le phlogistique du charbon. Cette réaction est demeurée incompréhensible dans la nouvelle théorie, jusqu'à ce que Cruickshank ait montré, en 1801, que l'«air inflammable lourd» de Lavoisier n'était pas de l'hydrogène mais un oxyde de carbone, qu'il appela «oxyde de carbone gazeux». On accepta progressivement cette interprétation, qui fut pourtant impuissante à convaincre Priestley: jusqu'à sa mort en 1804 il resta fidèle à la théorie du phlogistique.

Il y eut de nombreux essais pour adapter la théorie du phlogistique aux nouvelles découvertes de la chimie, en particulier de la part de Gren, en Allemagne, et on fit preuve pour cela de beaucoup d'ingéniosité. Il s'agissait en général des problèmes posés par les dégagements de lumière et de chaleur qui accompagnent les combustions, dont la théorie de Lavoisier ne donnait pas une explication satisfaisante. On avait déjà souvent auparavant ajusté la théorie: Kirwan avait identifié au phlogistique l'«air inflammable», et Macquer avait considéré que c'était la matière de la lumière, mais bien que les chimistes aient pris l'habitude de s'écarter de la théorie sous sa forme originale proposée par Stahl, il leur semblait que la meilleure façon de remédier aux lacunes de la théorie de Lavoisier était de supposer qu'un combustible contient du phlogistique et que le gaz oxygène contient du calorique, ou matière de la chaleur. Lors de la combustion, l'oxygène se combine au combustible, et le phlogistique du combustible se combine au calorique de l'oxygène pour donner le feu et la lumière, produits si fréquents de l'ignition. Sous une forme ou sous une autre, la théorie du phlogistique a survécu à l'arrière-plan chez les chimistes du début du XIXe siècle. Ceci ne doit pas nous surprendre: il était encore habituel, — et cela devait continuer longtemps — d'inclure les impondérables, chaleur et lumière, parmi les éléments constitutifs de la matière, et en physique, il était fondamental, pour de bonnes raisons, de considérer que la chaleur était matérielle. On n'a pu résoudre les difficultés inhérentes à la nouvelle chimie que vers le milieu du XIXe siècle, une fois éclaircies la nature de la chaleur et les transformations de l'énergie.

Roches cristallines et chronologie géologique

par J. SUTTON

La datation des couches de l'écorce terrestre a été réalisée, pour l'essentiel, à l'aide des roches sédimentaires fossilifères. Cette méthode ne peut s'appliquer aux roches du Précambrien qui sont dépourvues de fossiles utilisables, ni, plus généralement, aux roches cristallines. Cet article décrit les méthodes qui ont été imaginées pour de telles roches.

Depuis le début du XIXe siècle, lorsque William Smith le premier montra comment les âges relatifs des roches sédimentaires pouvaient être déterminées à l'aide des fossiles qu'elles contenaient, les géologues se sont efforcés d'élaborer une échelle stratigraphique englobant les temps géologiques depuis le Cambrien jusqu'à l'époque actuelle. Une fois la position d'une roche établie à l'intérieur de cette colonne stratigraphique, les phénomènes géologiques qui ont laissé des traces dans cette roche peuvent être placés avec plus ou moins de précision dans leur position chronologique correcte. De cette façon, la répartition des terres et des mers, la situation des principales chaînes de montagnes et les variations de climat dans le passé ont pu être graduellement mises en lumière. Ce sont naturellement les phénomènes géologiques ayant eu lieu à la surface de la Terre qui sont les mieux enregistrés par les roches sédimentaires et les roches volcaniques intercalées, bien que ces dernières fournissent également des preuves indirectes permettant de dater les mouvements de la croûte terrestre et l'activité éruptive prenant naissance en profondeur. En vérité, la plus grande partie de nos connaissances concernant la répartition des mouvements de l'écorce terrestre au cours des âges géologiques depuis le Cambrien, qui renferme les premiers fossiles utilisables, provient des indications fournies par les roches sédimentaires.

De telles indications, cependant, sont fragmentaires et difficiles à obtenir, car il faut pour cela trouver des roches déformées datables recouvertes par des roches datables légèrement plus récentes non affectées par la déformation. L'âge d'une intrusion peut être déterminé approximativement d'une manière analogue.

Les méthodes classiques de la stratigraphie doivent être complétées si l'on veut comprendre l'histoire des transformations qui se sont succédées à une certaine profondeur à l'intérieur de l'écorce terrestre au cours des temps géologiques. De telles transformations sont en relation avec trois grands groupes de phénomènes: la mise en place des roches éruptives, la production des roches métamorphiques et les déformations de l'écorce terrestre.

La détermination de l'âge absolu des roches cristallines qui ont subi ces changements a pu être réalisée depuis que Rutherford a découvert que la désintégration des minéraux radioactifs offrait un moyen de mesurer le temps écoulé depuis leur formation. Un essai de nature tout à fait différente a été tenté pour établir les âges relatifs des associations de minéraux des roches métamorphiques, ou des séries successives de structures géologiques formées par les mouvements de l'écorce terrestre. Ceci peut être réalisé par un examen détaillé de «l'anatomie» des terrains métamorphiques. Une troisième possibilité consiste à dater les phénomènes qui se sont produits à une certaine profondeur en étudiant les effets qu'ils ont provoqués à la surface sur les roches sédimentaires dont l'âge peut être établi par les moyens classiques. C'est à l'application de la seconde méthode que nous nous intéresserons principalement dans cette étude, mais nous devons d'abord examiner certains sujets se rapportant aux déterminations d'âges absolus.

L'ÂGE ABSOLU DES ROCHES

Les méthodes utilisées jusqu'ici, telles que la mesure des rapports uranium/plomb, rubidium/strontium, ou potassium/argon, sont fastidieuses et coûteuses, et il est évident que chaque détermination doit être faite en vue d'obtenir le plus grand nombre possible d'indications. Holmes [1] et plus récemment Mayne, Lambert et York [2] ont démontré que les courbes donnant la durée de temps représentée par n'importe quelle fraction de l'échelle stratigraphique depuis le Cambrien, peuvent être tracées à partir d'un nombre assez restreint de mesures. Mayne et ses collègues ont

utilisé 17 mesures de matériaux pouvant être situés sur l'échelle stratigraphique conventionnelle, et se sont servis de ces mesures pour déterminer l'âge absolu des divisions géologiques en question. Le matériel provenait de régions de l'Europe et de l'Amérique très éloignées les unes des autres. On ne peut naturellement pas procéder de cette façon avec les roches du Précambrien, car il n'y a encore aucun moyen purement géologique de les disposer en une série chronologique valable pour une région aussi vaste. La datation du Précambrien a été réalisée en majeure partie en cartographiant les principales divisions structurales de chaque zone, et en déterminant l'âge des minéraux susceptibles de s'être formés en même temps que prenaient naissance les principales structures pendant la succession de ses périodes d'orogenèse[1].

La mise en évidence des séries de phénomènes qui se sont produits pendant une telle orogenèse et qui ont marqué les roches cristallines, ainsi que leur corrélation en vue d'établir une série géologique universellement applicable et englobant le Précambrien, est une tâche passionnante entreprise actuellement par de nombreux chercheurs. Un travail important a déjà été accompli et quelques questions telles que la distinction entre les granites formés au cours du mouvement de surrection des montagnes et ceux formés pendant les étapes terminales sont maintenant suffisamment bien comprises au point de vue qualitatif. Un progrès important a été réalisé dans un travail d'Evernden, en Californie: il a été le premier à fixer la période de temps écoulée pendant l'intrusion d'une série de granites au cours d'un cycle orogénique donné. Ce résultat a été obtenu à partir d'un matériel provenant d'une chaîne de montagne géologiquement jeune, mais on peut espérer que l'amélioration des techniques permettra d'entreprendre un travail semblable sur les granites de chaînes plus anciennes. Il est intéressant qu'Evernden se soit trouvé d'accord avec la succession d'intrusions qui avait déjà été déduite d'observations faites sur le terrain, et que la datation absolue ait concordé dans tous les cas avec la succession indiquée par son raisonnement géologique.

LA DATATION GÉOLOGIQUE DES ROCHES CRISTALLINES

Nous pouvons nous reporter maintenant à quelques exemples de successions de phénomènes reconstituées dans le domaine géologique d'après les observations effectuées sur des roches cristallines en Ecosse, où quelques déterminations d'âge absolu ont été faites. On trouve en Ecosse des restes conservés d'au moins trois chaînes de montagnes. Dans les îles Hébrides Extérieures, et le long du littoral NW de l'Ecosse, le gneiss du «Lewisien» conserve les traces de deux orogenèses du Précambrien, et à l'Est se trouvent de vastes affleurements des séries de Moine et du Dalradien, qui ont été plissées et métamorphisées pendant l'orogenèse du Calédonien et qui constituent une partie d'une chaîne de roches cristallines s'étendant de la Norvège à l'Irlande occidentale. Les cartes détaillées publiées par le *Geological Survey* et le travail que de nombreux chercheurs ont entrepris à l'heure actuelle, montrent que pour chacune de ces orogenèses on peut établir une série de phases pendant lesquelles les roches ont été métamorphisées, déformées ou recoupées par des intrusions. Quelques exemples seront plus explicites qu'une discussion générale.

Les roches du Lewisien se présentent sous deux aspects assez différents le long de la côte ouest [3, 4]. Dans certaines zones, par exemple entre Scourie et Gruinard, les gneiss sont fréquemment orientés vers le NE et sont en général très fortement métamorphisés; l'ensemble des gneiss est recoupé pas des dykes de dolérite fraîche. Dans d'autres régions, comme entre Loch Laxford et Cape Wrath, les dolérites ont également été métamorphisées, et affectées en même temps que les gneiss environnants par de nouveaux mouvements de l'écorce terrestre qui ont provoqué une orientation des gneiss vers le NW; ils sont envahis par de nombreux granites et pegmatites plus récents que les dolérites.

Il semble que cette disposition soit le résultat de deux périodes distinctes d'orogenèse. Pendant la première période, que l'on a nommée Scourien, un métamorphisme s'est produit et les roches ont acquis leur orientation NE. Vint ensuite la phase intrusive des dykes de dolérite. Par la suite, certaines parties du Lewisien furent affectées par une seconde orogenèse, ou Laxfordien, pendant laquelle un métamorphisme plus poussé et de nouvelles déformations se produisirent. Les portions du Lewisien qui ne furent pas touchées pendant cette dernière période, ont gardé l'aspect acquis au cours de la première orogenèse. La clé de l'histoire géologique de cette formation est fournie par l'intrusion d'un champ de dykes de dolérite dans l'intervalle des deux mouvements;

[1] La phase de formation des montagnes pendant laquelle les sédiments accumulés sont comprimés, produisant des plis et des failles.

FIGURE 1 – *Succession des phénomènes établis pour les roches du Lewisien près de Loch Laxford, Sutherland* [4].

les dykes ne sont pas modifiés là où seule l'orogenèse du Scourien a affecté les roches, mais ils sont métamorphisés aux endroits où les effets de l'orogenèse du Laxfordien se sont superposés à ceux du Scourien.

Deux orogenèses du Précambrien ont été identifiées à l'aide d'indications tout à fait semblables par Noe-Nygaard [5] dans l'ouest du Groenland, et des exemples comparables de métamorphisme répété ont été constatés dans les Alpes [6].

Un tableau intéressant se précise si l'on examine le Lewisien de l'ouest de l'Ecosse en bordure d'une zone affectée par la dernière orogenèse du Laxfordien. Les résultats de cette étude sont récapitulés dans le tableau ci-joint (figure 1). Chaque colonne reproduit la succession de phénomènes relevée dans une zone; l'ensemble des zones a 12 km de large, et elles sont disposées en série en partant de la moins modifiée (au SW) jusqu'à la plus affectée (au NE). Les mouvements, le métamorphisme et la migmatisation du Laxfordien sont plus prononcés dans la zone de Laxford au NE et diminuent progressivement en direction de la zone de Scourie à quelque 12 km vers le SW. La succession de phénomènes déclanchée par l'orogenèse du Laxfordien ne commence pas partout en même temps, au contraire la conception d'un front de métamorphisme diachronique exprime mieux le phénomène qui s'est apparemment frayé un chemin vers le sud à travers l'écorce, puis s'est retiré vers le nord. La zone de Scourie a l'histoire la plus simple et la zone de Laxford l'histoire la plus longue et la plus compliquée. Dans chaque zone, la mise en route des phénomènes a été marquée par la formation de bandes de cisaillement — zones allongées de roches dans lesquelles les gneiss ont été broyés et chevauchés par des masses de roches cristallines. Pendant le déroulement du métamorphisme le cisaillement a fait place aux plissements dans les deux zones les plus septentrionales tandis que le mouvement le long des zones cisaillées se déplaçait plus au sud, là où le métamorphisme était moins intense. Vers la fin des phénomènes, le cisaillement se produisit de nouveau partout. Des roches granitiques de différentes sortes avaient commencé à apparaître pendant la phase plastique. Dans les zones du NE, les mouvements de cisaillement continuèrent même après la formation des granites et des pegmatites, mais à Scourie, les mouvements avaient cessé avant l'intrusion des dernières pegmatites. Les variations constatées dans les zones relativement étroites de la région de Loch Laxford montrent avec quelle rapidité les relations entre l'activité éruptive, le métamorphisme et les déformations peuvent changer, et illustrent la complexité des phénomènes enregistrés par les roches cristallines.

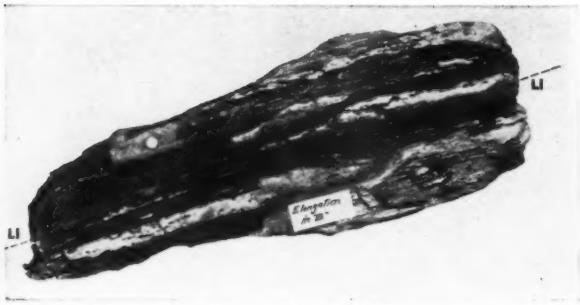
Holmes, Shillibeer et Wilson [7] ont déterminé

FIGURE 2 – *Plans de clivage dans des schistes argileux plissés, Ross of Mull.*

FIGURE 3 – *Granulites siliceuses plissées de la Série de Moine, Ross of Mull.*

FIGURE 4 – *Filets de quartz à l'intérieur des plis. Chaque masse est allongée parallèlement aux axes des plis. L'affleurement a 2 mètres de haut et montre les filets de quartz en coupe transversale. La figure 6a montre des masses de quartz semblables. Ben Hutig, Sutherland.*

FIGURE 5 – *Roche siliceuse de Unst, Shetland, montrant les effets d'une déformation répétée: une linéation représentée par une légère striation a été tordue par le plissement associé à la troisième phase métamorphique décrite dans le texte. Longueur de l'échantillon: 40 cm environ.*



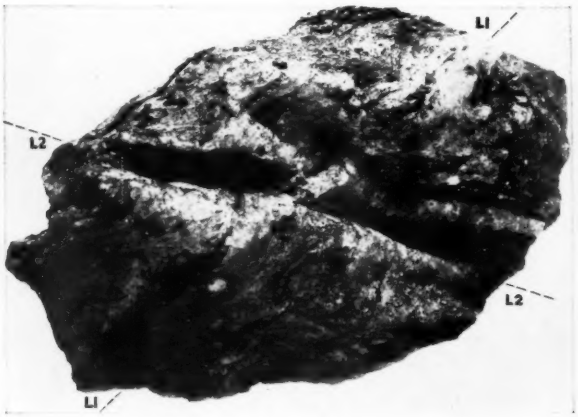


FIGURE 6 – (a) (*ci-dessus*). *Masses allongées de quartz dans une roche à linéation. Les structures sont parallèles à l'axe local du pli. La roche a été plissée une fois. Longueur de l'échantillon:* 30 *cm.* (b) *La roche a été plissée deux fois. Filets de quartz et linéations formés pendant une phase plus ancienne de plissement* (*L*1), *dirigés du bas à gauche vers le haut à droite, déformés pendant une phase plus récente de plissement marquée L*2. *Longueur de l'échantillon:* 25 *cm.*

59

ets
ère
ase
n:

l'âge des feldspaths des pegmatites du Laxfordien par la méthode potassium/argon, et ont trouvé qu'il était de 1 090 ± 70 millions d'années. Etant donné que l'on a découvert récemment que les feldspaths peuvent perdre jusqu'à 30% de leur argon radioactif au cours de leur existence [8], l'âge de l'orogenèse du Laxfordien est donc vraisemblablement encore plus élevé. Le Lewisien, avec ses deux schémas structuraux bien différenciés, semble être la formation idéale dans laquelle établir les relations entre les âges absolus et les successions chronologiques déterminées par des données structurales et métamorphiques.

LA RECRISTALLISATION DES ROCHES MÉTAMORPHIQUES

La datation des roches cristallines affectées par deux orogenèses a été tentée par des moyens assez différents par Davis, Wetherill, Tilton et Hopson [9]. Ils ont étudié les minéraux du gneiss de Baltimore, un groupe de roches des Appalaches, dont l'âge a été sujet à discussion. Ils ont trouvé pour le zircon un âge de 1 100 millions d'années, en utilisant le rapport uranium/plomb, et pour le feldspath, 1 200 ± 200 millions d'années. La biotite donne un âge de 310 millions d'années par les deux méthodes, rubidium/strontium et potassium/argon. Ils ont conclu à partir de ces données que le gneiss de Baltimore a pris naissance au Précambrien il y a environ 1 100 millions d'années, et qu'il a été repris pendant les mouvements du Paléozoïque, et soumis au métamorphisme il y a environ 300 millions d'années, au moment de la formation de la biotite. Que les différents minéraux formant une même roche puissent avoir cristallisé à des époques géologiques aussi éloignées paraît surprenant à première vue. Cependant cela paraît bien concorder avec l'histoire géologique du gneiss de Baltimore telle que l'ont reconstituée ceux qui ont étudié cette formation sur le terrain.

On dispose depuis le début de ce siècle de renseignements laissant supposer un fait semblable en Grande-Bretagne, bien qu'aucune mesure d'âge absolu n'ait encore été effectuée sur le matériel. Il y a plus de 50 ans, des membres du *Geological Survey* [10] ont signalé la présence d'amas radiaires de hornblende dans des roches du Lewisien qui avaient été affectées par les derniers mouvements du Calédonien, et ils ont démontré que la hornblende sous sa forme actuelle datait de l'époque calédonienne. Plus récemment, il a été possible de faire avancer d'un pas ce raisonnement en démontrant quelle était la phase du Calédonien pendant laquelle cette hornblende s'était recristallisée. Ces gneiss à hornblende sont un bon exemple de roches métamorphiques dans lesquelles la disposition initiale des minéraux a été en partie remplacée par une disposition nouvelle. De telles roches peuvent être désignées comme polymétamorphiques: elles se sont formées non seulement par une succession des métamorphoses qui se sont produites pendant chaque période d'orogenèse indépendante, mais encore pendant les phases successives d'un même cycle de formation de montagnes. La cartographie des successions d'associations minérales, et plus encore des successions de structures géologiques, permet d'établir l'histoire métamorphique des roches cristallines produites pendant ces phases successives. Ces dernières années, ces travaux ont reçu une nouvelle impulsion grâce aux recherches sur les microtextures orientées des roches et aux observations faites sur les structures déformées.

ORIENTATION DES CRISTAUX DANS LES ROCHES DÉFORMÉES

Lorsque de nouveaux minéraux se forment dans des roches métamorphiques alors que celles-ci subissent des déformations, les grains minéraux prennent souvent une orientation systématique selon les pressions déformantes (figure 2). Un exemple classique est fourni par la façon dont les minéraux lamellaires d'un schiste ardoisier sont disposés le long de ses plans de clivage. Lorsque Sander et Schmidt découvrirent que des minéraux approximativement équidimensionnels étaient aussi disposés systématiquement dans les roches métamorphiques, il est apparu clairement que l'orientation était contrôlée dans de tels cas par quelque propriété interne du réseau cristallin et non par la forme extérieure. On a découvert, par exemple, que dans les roches métamorphiques siliceuses plissées (figure 3), les grains de quartz peuvent être ordinairement disposés de telle sorte que leurs axes cristallographiques 0001 tombent dans un plan normal aux axes des plis visibles.

F. C. Phillips [11] a montré que les grains de quartz des roches siliceuses de la série de Moine en Ecosse étaient disposés dans des plans normaux à une striation ou linéation visible, et, par la suite, lui-même et d'autres chercheurs comme C. B. Crampton [12] ont démontré que de nombreux autres minéraux constituant ces roches étaient systématiquement disposés. La texture orientée, qui est la disposition des minéraux, et la linéation montrent souvent également une relation simple avec des structures plus vastes, telles que des plis

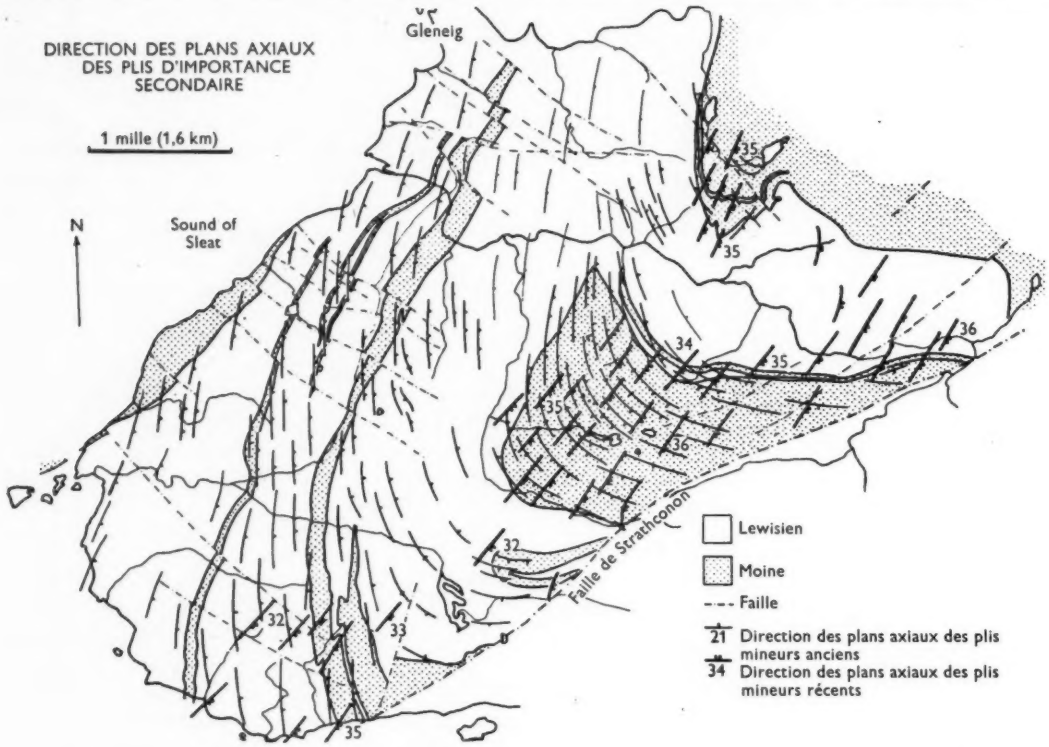


FIGURE 7 – *La carte montre comment les plans de clivage formés pendant une phase de plissement ont été déformés durant des mouvements plus récents qui produisirent à leur tour d'autres plans dirigés NE.* (*D'après J. G. Ramsay* [16].) *Glenelg, Inverness-shire.* (*Les figures* 1 *et* 7 *sont reproduites avec l'aimable autorisation du* Geological Survey.)

de plusieurs km d'amplitude [13, 14]. Par exemple, à Scardroy dans le Ross-shire, où les plis principaux sont dirigés vers le SSE, la linéation la plus accusée (figure 6) suit cette direction et les grains de quartz ont leurs axes disposés dans un plan normal à cette linéation. On a maintenant établi des rapports semblables entre la microtexture orientée et les grandes structures en de nombreux endroits des Highlands d'Ecosse. Ceci permet d'établir des corrélations entre des associations de minéraux séparées par plusieurs kilomètres, lorsque sont démontrés leurs rapports avec une même grande structure que l'on peut suivre à travers les terrains intermédiaires. Les structures les plus utiles sont les grands plis, les structures plus petites telles que des plis de quelques mètres de largeur, et les plans de clivage qui y sont associés.

Un travail récent sur de telles structures a montré qu'au moins trois séries de mouvements ont affecté certaines roches métamorphiques de la série de Moine et que ces successions se superposent. L. E. Weiss [15] a donné une bibliographie des articles récents concernant les structures superposées. Des mouvements successifs se produisent souvent pendant la formation des montagnes, et l'on a observé depuis longtemps que des plis orientés dans plusieurs directions différentes et datant de périodes différentes étaient présents dans la série de Moine en Ecosse. Mais les nouveaux travaux représentent une innovation en ce qu'ils démontrent comment les structures anciennes sont déformées par les suivantes, et comment, à leur tour, les structures récentes sont influencées par les anciennes. Dans presque toute la partie centrale du Ross-shire les roches sont encore telles que pendant la seconde des trois périodes de plissement qui les ont affectées pendant l'orogenèse calédonienne. Localement, on peut détecter des structures et des minéraux formés pendant la première période, et comme ils ont laissé des traces dans les terrains affectés par les mouvements suivants, les plis, linéations et clivages résultant de la première série d'événements

ont été déformés par les structures plus récentes qui coupent nettement en travers des anciennes (figures 6, 7). Lorsqu'on examine la micro-texture orientée, il apparaît clairement que les grains individuels ont pris graduellement de nouvelles orientations en rapport avec les nouvelles structures. Une troisième série de structures calédoniennes s'est développée dans la plupart des terrains à la limite de Wester Ross et d'Inverness, et là également, on observe la superposition des nouvelles structures sur les anciennes [14, 16, 17].

En rapprochant le métamorphisme et la structure, on est ainsi à même de distinguer trois générations de minéraux, de délimiter le domaine de chacune sur le terrain, et d'utiliser la succession chronologique ainsi établie pour tenter de résoudre de nouveaux problèmes. On peut par exemple [16, 17], déterminer la variation du métamorphisme à un endroit donné en fonction du temps, ou sa variation à travers toute une région pendant une seule phase de plissement. J. G. Ramsay a montré [16] que, près de la bordure NW de la chaîne à Glenelg, les roches affectées par la troisième série de phénomènes étaient très peu recristallisées, tandis qu'une importante recristallisation se produisait dans les districts de Monar et d'Orrin [14, 18] à l'époque de ces mouvements, ainsi que l'intrusion de lames de granite le long des plans axiaux des plis après leur formation.

L'île de Unst, dans les Shetland, fournit un exemple très net de métamorphisme répété [19], accompagné de modifications minéralogiques frappantes. L'examen des structures démontre de façon éclatante l'existence d'une succession de trois phases de métamorphisme découvertes par H. H. Read dans la partie ouest de Unst. On observe là une linéation marquée des gneiss à staurotide-disthène-grenat formés au cours du premier épisode. Cette linéation ainsi que les filets cristallisés de quartz sont tordus suivant les nouveaux axes en bordure de la zone où l'on peut observer la seconde phase. Là où de nouveaux minéraux tels que la chlorite, caractéristique de la seconde phase métamorphique, sont bien développés, les structures plus anciennes ont été détruites et les nouveaux plis et les nouvelles linéations prédominent. Read a observé une troisième série de minéraux métamorphiques le long d'une bande d'intense déformation en allant vers le centre de Unst, en relation également avec une série caractéristique de structures (figure 5).

Les séries de phénomènes établies ici présentent quelques imperfections en tant qu'échelles possibles des temps géologiques. La déformation ou le métamorphisme peuvent être diachroniques et on n'a pas de certitude sur les intervalles de temps entre les phases successives susceptibles elles-mêmes de se prolonger. Néanmoins, ces méthodes fournissent des indications concernant les rapports chronologiques entre la déformation et le métamorphisme, et les intrusions lorsqu'il s'en produit. Ces méthodes peuvent s'appliquer à de vastes régions et fournissent une chronologie qui peut être reliée aux déterminations d'âges basées sur les méthodes classiques de la stratigraphie, sur les études paléomagnétiques, ou sur les mesures effectuées sur les minéraux radioactifs.

Cet article a eu pour objet principal les travaux de l'auteur en Ecosse, mais des études semblables ont été effectuées dans d'autres pays. Ainsi en Autriche, depuis de nombreuses années, une très vivante école de géologues s'occupant des problèmes de structure et dirigée par Sander, a étudié dans quelle mesure le métamorphisme et les déformations influaient sur la disposition des minéraux dans les roches métamorphiques.

RÉFÉRENCES

[1] HOLMES, A. *Trans. geol. Soc. Glasg.*, **21**, 117, 1947.

[2] MAYNE, K. I., LAMBERT, R. ST J. et YORK, D. *Nature, Lond.*, **183**, 212, 1959.

[3] PEACH, B. N., HORNE, J., GUNN, W., CLOUGH, C. T., HINXMAN, L. W. et TEALL, J. J. H. «Geological Structure of the N.W. Highlands of Scotland». *Mem. geol. Surv. Scotl.*, 1907.

[4] SUTTON, J. et WATSON, J. V. *Quart. J. geol. Soc.*, **106**, 241, 1951.

[5] NOE-NYGAARD, A. *Rep.* 18. *Int. geol. Congr., London.* 1948.

[6] WENK, E. *Schweiz. min. petrogr. Mitt.*, **14**, 196, 1934.

[7] HOLMES, A., SHILLIBEER, H. A. et WILSON, J. T. *Nature, Lond.*, **176**, 390, 1955.

[8] GOLDICH, S. S., BAADSGAARD, H. et NIER, O. A. *Trans. Amer. geophys. Un.*, **38**, 547, 1957.

[9] DAVIS, G. L., WETHERILL, G. W., TILTON, G. R. et HOPSON, C. A. *Program Ann. Meeting geol. Soc. Amer.*, 1958.

[10] PEACH, B. N., HORNE, J., WOODWARD, H. B., CLOUGH, C. T., HARKER, A. et WEDD, C. B. «The Geology of Glenelg, Lochalsh and S.E. part of Skye». *Mem. geol. Surv. Scotl.*, 1910.

[11] PHILLIPS, F. C. *Quart. J. geol. Soc.*, **93**, 581, 1937.

[12] CRAMPTON, C. B. *Geol. Mag.*, **94**, 89, 1957.

[13] SUTTON, J. et WATSON, J. V. *Quart. J. geol. Soc.*, **108**, 99, 1953.

[14] RAMSAY, J. G. *Ibid.*, **113**, 271, 1958.

[15] WEISS, L. E. *Bull. geol. Soc. Amer.*, **70**, 91, 1959.

[16] RAMSAY, J. G. *Quart. J. geol. Soc.*, **113**, 487, 1958.

[17] SUTTON, J. et WATSON, J. V. *Ibid.*, **114**, 231, 1959.

[18] FLEUTY, M. J. Thèse, University of London. 1956.

[19] READ, H. H. *Trans. roy. Soc. Edinb.*, **59**, 195, 1937.

Le bicentenaire du Jardin Botanique de Kew

par C. E. HUBBARD

Le Jardin de Kew fête cette année ses deux siècles révolus d'efforts et de progrès constants. Au cours de cette période ses contributions à la botanique et à l'avancement matériel des peuples, notamment ceux du Commonwealth Britannique, lui ont acquis une renommée universelle.

C'est en 1759 que la Princesse Augusta, veuve du Prince de Galles Frédéric, fils de George II, fonda un jardin botanique dans son domaine de Kew. Mais l'existence de celui-ci en tant que jardin royal remonte à 1730, à l'époque où Frédéric loua à long terme le château de Kew (plus tard démoli) et commença l'aménagement d'environ 4 hectares du domaine. Il mourut en 1751, et la Princesse, qui prenait grand intérêt à la vie végétale, demeura à Kew et continua à s'occuper du jardin, grandement aidée et encouragée en cela par le Comte de Bute, ami de la famille royale et grand amateur de botanique.

On ne sait pas grand-chose des débuts du Jardin, sauf que William Aiton, élève du célèbre botaniste Philip Miller au Jardin des Apothicaires, de Chelsea, fut chargé en 1759 de l'aménagement du nouveau jardin botanique de Kew. Il partagea toute la superficie en deux parties presque égales: il planta dans la moitié sud une collection d'herbacées, disposées selon le système de Linné, de nombreuses variétés de graminacées et des collections spéciales de plantes britanniques et alpines. La partie nord, appelée l'*arboretum* et séparée de la partie sud par des murs ou des serres, fut plantée d'arbres et d'arbustes dont beaucoup étaient d'introduction récente en Grande-Bretagne, mais connues pour être vivaces. On en fit venir un grand nombre, en 1762, du jardin du duc d'Argyll à Whitton dans le Middlesex. De ceux-ci il reste encore à Kew un vieux ginkgo (*Ginkgo biloba*), un faux acacia ou robinier et un chêne chevelu (*Quercus cerris*).

Sous l'impulsion donnée par Bute le Jardin devint un établissement scientifique reconnu et les collections gagnèrent rapidement en nombre et en qualité. Bute habitait Kew et conservait sa bibliothèque et ses spécimens botaniques dans un local séparé, à proximité du jardin de la Princesse Augusta. C'est ici probablement que John Hill, botaniste renommé de l'époque, prépara son catalogue (l'*Hortus Kewensis*) des 3 400 espèces cultivées alors dans le jardin royal. L'ouvrage, publié en 1768, comporte 468 pages; 26 nouvelles espèces, pour la plupart d'origine américaine, y figurent. Une vingtaine de celles-ci paraissent sur une belle planche en couleurs dans la 2e édition, parue en 1769. Un catalogue manuscrit dressé en 1773 montre que la collection royale contenait alors 791 espèces et variétés d'arbres et d'arbustes.

George II mourut en 1760 et le fils de la Princesse Augusta lui succéda sous le nom de George III. Celui-ci s'installa dans la résidence de son grand-père, Richmond House. Le jardin de cette dernière propriété attenait au domaine de Kew House, dont le nouveau roi se rendit acquéreur à la mort de sa mère. En 1802 les deux jardins royaux furent réunis: de là le pluriel de l'appellation officielle *Royal Botanical Gardens*.

En 1771 ou 1772, Joseph Banks fut présenté au jeune roi au retour du voyage d'exploration qu'il fit dans le Pacifique avec Cook à bord de l'*Endeavour* en qualité de naturaliste. Il devint le conseiller scientifique du roi, et, vu l'intérêt qu'il portait à Kew, il succéda à Bute comme directeur bénévole du Jardin. Celui-ci, sous la direction de Banks, devint bientôt le principal jardin botanique européen, renommé pour sa richesse et la valeur scientifique de ses collections. Presque toutes les expéditions britanniques de l'époque emportaient un botaniste ou un herborisateur envoyé par Banks, et il organisait des expéditions spéciales qui allaient recueillir dans des contrées lointaines des plantes et des graines destinées à être cultivées à Kew.

Nous donnons ci-dessous trois exemples, tirés des archives de Kew, d'importations et d'échanges de plantes d'importance économique et scientifique réalisés par ordre de Banks, en rappelant toutefois que d'autres par la suite continuèrent cette œuvre

utile, qui est restée une des principales activités du Jardin de Kew.

Francis Masson, horticulteur à Kew et le premier des herborisateurs employés par Banks, partit pour le Cap de Bonne-Espérance au début de 1772. Il y passa deux années et demie à recueillir des plantes pour le jardin, parfois accompagné de Thunberg, un notable disciple de Linné. Il se rendit aux Canaries et autres îles de l'Atlantique Nord, ainsi qu'aux Antilles, avant de repartir pour le Cap où il resta encore près de dix ans. C'est à Masson que, selon Banks, était due la situation prépondérante de Kew parmi les établissements du même genre.

Les noms de Banks et de Kew sont intimement liés au fameux voyage du *Bounty*, capitaine William Bligh, envoyé dans le Pacifique Sud en 1787 avec mission de recueillir des plants d'arbre à pain destinés à être acclimatés aux Antilles. A bord se trouvaient deux horticulteurs de Kew, David Nelson et William Brown. On recueillit un grand nombre de plants, mais la mutinerie de l'équipage, à laquelle Brown participa, fit échouer le projet. Bligh renouvela la tentative en 1791 dans la *Providence*, accompagné de Christopher Smith et J. Miles, envoyés par Kew. Cette fois la collection de jeunes plants d'arbres à pain arriva saine et sauve à destination. Un lot de boutures de canne à sucre introduit en même temps de Tahiti s'acclimata graduellement dans toutes les Antilles. Dès 1819, le rendement annuel en sucre de cette variété de canne, pour les cinq années précédentes, était de l'ordre de 12 800 t. C'est elle qui, presque exclusivement, constitua les plantations de la Barbade au cours de près d'un siècle. Sa culture dut, en définitive, être abandonnée à cause des atteintes d'une maladie.

Masson fut le premier de la longue liste d'horticulteurs de Kew qui du vivant de Banks, et après sa mort (1820), allèrent chercher des plantes et des semences pour le jardin. James Bowie et Allan Cunningham se rendirent au Brésil en 1814, George Caley en Australie en 1799 et William Carr en Chine en 1803. En 1817 Cunningham fut affecté en permanence à la Nouvelle Galles-du-Sud et y acquit une renommée internationale comme explorateur et comme botaniste. Il envoyait constamment à Kew des plantes inconnues et rares. Il explora l'intérieur de la Nouvelle Galles-du-Sud et passa dans le Queensland en franchissant le *Great Dividing Range* par le col qui porte son nom. Il explora, en outre, dans le *Mermaid*, capitaine King, les côtes nord et nord-ouest de l'Australie.

Les noms des nouvelles plantes introduites à Kew figurent parmi les 5 500 espèces de l'*Hortus Kewensis* de William Aiton publié en 1789. D'autres figurent dans la 2e édition de cet ouvrage (1810–13), préparée par son fils et successeur au poste de surintendant depuis 1793, et donnant 9 800 espèces.

Durant les 21 ans qui suivirent la mort de Banks il y eut un temps d'arrêt dans le développement du Jardin bien que, grâce au zèle enthousiaste de John Smith, nommé conservateur en 1841, les plantes existantes fussent parfaitement entretenues. Le Gouvernement, averti de cet état de choses, institua en 1838 une commission d'enquête composée d'un botaniste, John Lindley, et de deux horticulteurs, Paxton et Wilson. Conformément à leurs recommandations, l'administration du Jardin fut confiée en 1840 à la Commission des Bois et Forêts. Dr. William Jackson Hooker, professeur de botanique à l'Université de Glasgow, en devint le premier directeur, sous le nouveau régime, en avril 1841.

La superficie du Jardin était alors d'environ 6 hectares; arbres, arbustes et herbacées s'y pressaient pêle-mêle; pas d'herbier, de musée ni de laboratoire. Les serres étaient délabrées, et, de même que le jardin, étaient insuffisantes pour loger les riches collections existantes, sans parler des plantes et des semences qui arrivaient constamment des quatre coins du globe. Cependant, quand Hooker mourut, en 1865, les vastes serres, celles des palmiers et la serre «tempérée», et le premier musée de botanique économique avaient été construits et un bel herbier-bibliothèque installé dans Hunter House; le Jardin avait été réaménagé: il occupait presque son étendue actuelle et portait une magnifique collection d'arbres, d'arbustes et d'herbacées judicieusement plantés.

Hooker dirigeait la publication de plusieurs journaux scientifiques, notamment le *Botanical Magazine*, le *Icones Plantarum* et son propre *Journal of Botany*, et de nombreux articles portaient sa signature. Les deux premiers étaient encore édités à Kew 120 ans plus tard. C'est lui qui a conçu et mis en route les projets de flores des pays constituant l'actuel Commonwealth, et pour ces travaux le Jardin continue à fournir aux botanistes de tous les pays des renseignements taxonomiques pour l'identification des plantes. C'est par ce moyen, entre beaucoup d'autres, qu'il prépara le Jardin à son rôle futur de centre international de recherches en botanique. Il aidait et encourageait les botanistes de tous les pays au moyen d'une volumineuse correspondance, en leur procurant des facilités d'étude, en organisant des échanges de plantes vivantes ou desséchées et des expéditions chargées

d'explorer les régions incultes et y recueillir des spécimens.

Kew continua à prospérer et se développer sous la direction de Joseph Dalton Hooker qui succéda à son père en 1865. En collaboration avec son ami George Bentham il édita le *Genera Plantarum* où sont décrits en latin tous les genres d'Angiospermes et de Gymnospermes. L'ouvrage est devenu classique et, grâce à lui, de nombreuses flores et listes de plantes ont pu être dressées tant pour les collections de Kew que pour les herbiers des pays étrangers et du Commonwealth. Son propre apport à la botanique est considérable, notamment en ce qui concerne la description, la classification et la phytogéographie. Il édita, et rédigea en grande partie, la *Flora of British India* en sus des flores de la Nouvelle-Zélande, de la Tasmanie et des régions antarctiques. Le Laboratoire Jodrell de recherche anatomiques et physiologiques fut construit en 1876 et une aile ajoutée à l'Herbier en 1877, destinée à loger l'énorme collection de spécimens desséchés reçus à Kew. Au moment où Sir Joseph Hooker prit sa retraite en 1885, Kew était devenu le principal centre international de recherches botaniques, pour la systématique surtout.

C'est le dynamisme, la prévoyance et la compétence des deux Hooker qui ont fait du Jardin de Kew ce qu'il est aujourd'hui. Ils étaient des administrateurs et des organisateurs éminents, mais surtout des botanistes de premier ordre. Leurs successeurs continuèrent leur œuvre en entretenant d'étroites relations avec les botanistes et les établissements de botanique du Commonwealth, surtout en ce qui concerne la botanique économique et taxonomique. Le *Kew Bulletin* enregistre depuis 1887 les résultats des recherches entreprises à Kew; avec ses suppléments il comprend actuellement 80 volumes.

Quand il fut offert à la nation par la Reine Victoria en 1841, le Jardin devait remplir un rôle scientifique: culture de plantes reçues de tous les pays du monde; instruction du public; bouturage de plantes destinées à être distribuées aux divers pays du Commonwealth, et, enfin, fournir au Gouvernement des renseignements généraux sur les questions touchant à la botanique. Conformément à cette intention, le Jardin comporte aujourd'hui cinq sections:

1. L'Herbier-Bibliothèque, centre de recherches constitué, au premier chef, en vue de l'identification correcte des plantes et leur classification.
2. Le Laboratoire Jodrell consacré à l'étude de la physiologie et l'anatomie végétales.
3. Les Musées de botanique économique, qui renseignent le public sur l'utilisation des végétaux, les questions de botanique appliquée et l'exploitation économique des plantes.
4. Les collections vivantes qui comportent la culture de plus de 25 000 espèces de plantes à fleurs et de fougères, dont on envoie des plants et des semences aux établissements analogues en Grande-Bretagne et outre-mer.
5. La «pinède nationale» à Bedgebury, dans le Kent, qui contient une collection vivante d'espèces vivaces de conifères.

L'Herbier-Bibliothèque a été fondé en 1853. Les spécimens et les livres furent alors installés à *Hunter (Hanover) House*, jusqu'alors résidence du Duc et de la Duchesse de Cumberland. Ici sont réunies les collections de William Arnold Bromfield, l'important herbier-bibliothèque donné par George Bentham en 1854 et les immenses collections de Sir William Hooker, prêtées à Kew depuis 1841, et achetées en 1866. Les herbiers réunis de Bentham et de Hooker, ainsi que d'autres collections botaniques provenant de dons ou d'achats, constituaient une base de premier ordre pour les recherches sur les flores, envisagées par Sir William.

LE KEW ACTUEL

L'Herbier continue à s'accroître à mesure que la végétation des diverses régions est étudiée plus en détail. Le rythme annuel des apports est de 60 000 pièces en moyenne. Les spécimens sont logés dans trois ailes: il y a au total 6½ millions de feuilles portant des spécimens montés de tous les groupes de plantes, représentant une forte proportion de presque toutes les espèces connues. Outre les échantillons desséchés, il y a plus de 15 000 bouteilles contenant des fleurs et des fruits en liquide préservatif et de nombreuses boîtes de fruits et de graines. L'herbier est exceptionnellement riche en spécimens-types, identifiés de manière rigoureusement authentique: c'est pourquoi les botanistes d'outre-mer s'adressent à Kew quand ils veulent réviser d'anciennes flores ou en composer de nouvelles.

Les résultats des travaux effectués dans l'Herbier par les chercheurs appartenant à l'établissement, ou par des visiteurs qui y ont fait de longs séjours, sont consignés soit dans des journaux scientifiques, soit dans des ouvrages séparés. En 1863 Sir William Hooker lança le projet de rédiger les flores des pays du Commonwealth Britannique,

entreprise qui se poursuit jusqu'à ce jour. La première flore, celle des Antilles Britanniques, fut composée de 1859 à 1864; puis ce fut le tour de celles de l'Australie, la Tasmanie, la Nouvelle-Zélande, les îles Fiji, la Péninsule Malaise, Hong-Kong, Ceylan, les îles Maurice et Seychelles, l'Afrique Tropicale, l'Afrique du Sud et autres régions et îles moins importantes, du vieux monde surtout. Parmi les flores dont la rédaction se poursuit dans l'Herbier il y a notamment la 2e édition de la flore de l'Afrique Occidentale tropicale, une flore de l'Afrique Orientale tropicale et les flores de l'île de Chypre et de l'Iraq.

On continue le dépouillement des publications sur la botanique pour trouver les noms de genres et d'espèces de plantes à fleurs à inclure, avec leur lieu d'origine et leur date de publication, dans l'*Index Kewensis*. Ce fut Charles Darwin qui suggéra la mise sur pied de ce service si utile aux botanistes, aux horticulteurs, à tous ceux, en somme, qui s'intéressent aux végétaux. Il se chargea d'ailleurs des premiers frais. L'ouvrage comprend actuellement 14 gros in-quarto, et tous les cinq ans un supplément paraît: celui de 1951–55 contient environ 20 500 noms. Les deux premiers volumes, parus en 1895, et les 12 suppléments contiennent environ 830 000 noms de genres et d'espèces.

L'*Index Londinensis* qui est une liste des illustrations de plantes à fleurs et de fougères, dont la compilation se fait à Kew aux frais de la *Royal Horticultural Society*, se compose de quatre volumes et deux suppléments, le tout se rapportant aux années 1753 à 1935. L'ouvrage est très utile non seulement en tant que répertoire d'illustrations de végétaux, mais aussi comme source de renseignements sur la littérature des plantes représentées.

L'art botanique n'est pas négligé à Kew: depuis 1841 le *Botanical Magazine* y est édité en grande partie et publié avec ses illustrations en couleurs de plantes s'élevant actuellement à 10 000 planches contenues dans 172 volumes. Les 36 volumes d'*Icones Plantarum* comportent environ 3 600 descriptions avec illustrations en noir et blanc des plantes nouvelles et rares de l'Herbier. La bibliothèque de botanique est vraisemblablement la plus vaste du genre, contenant plus de 55 000 volumes reliés, près de 80 000 tirés à part et réimpressions, une collection d'environ 150 000 tableaux, dessins et photographies, et enfin 6 500 cartes. On y reçoit 700 périodiques.

Le Laboratoire Jodrell construit et équipé en 1876 aux frais de T. J. Phillips Jodrell, pour faciliter les recherches en anatomie et physiologie végétales, a gardé ses dimensions modestes. C'est ici cependant que nombre de botanistes de renom ont effectué leurs travaux anatomiques, biochimiques, mycologiques et physiologiques, d'importance fondamentale. L'examen microscopique d'échantillons de bois, de fibres et de végétaux utilisés à des fins médicinales et autres, constitue une de ses activités les plus profitables à la science botanique. Signalons, à ce sujet, que l'actuel surintendant du Laboratoire, Dr. C. R. Metcalfe, a publié en 1950, en collaboration avec L. Chalk, un nouvel ouvrage de 1 500 pages sur l'anatomie des Dicotylédones, qui s'inspire de ce qui a paru à ce sujet depuis la publication du *Systematic Anatomy of the Dicotyledons* de Solereder en 1908, et aussi des résultats d'observations originales effectuées sur une immense collection de préparations de tissus, de feuilles et de racines, commencée en 1930 et comptant actuellement plus de 20 000 lamelles. Pour faire pendant à l'ouvrage ci-dessus, le Laboratoire, avec l'aide d'autres établissements, prépare en ce moment une étude de l'anatomie des Monocotylédones, dont le premier volume, relatif aux herbacées, est à l'impression. Le Laboratoire offre des facilités exceptionnelles pour l'étude des problèmes de botanique exigeant la collaboration de spécialistes en taxonomie, anatomie, cytologie et physiologie, attendu qu'aucun autre établissement ne dispose d'une telle profusion de matériel végétal.

Les trois musées de botanique économique contiennent d'importantes collections de produits végétaux de tous genres servant à l'identification à des fins de recherche ou pour l'exportation. Deux sont consacrés aux Dicotylédones et aux Monocotylédones et un à la collection d'échantillons de bois de construction et d'objets faits en bois. Le personnel de cette section, consacrée principalement à l'exploitation économique des végétaux, doit répondre à une grande diversité de questions touchant leur utilisation, et, à cet effet, il a étudié ces dernières années les gommes et les résines végétales, les matières tannantes, les fibres, les plantes médicinales et une grande variété de noix et de graines.

Le Jardin de Kew a joué un grand rôle dans l'introduction dans les pays du Commonwealth de plantes nouvelles de grande valeur économique. L'introduction de l'hévéa en Malaisie et de l'arbre à quinquina dans l'Inde en sont des exemples bien connus. Le Jardin a, dès ses débuts, distribué des plantes utiles: d'abord une grande variété de fruits, de noix et de légumes ont été envoyés aux

habitants des endroits nouvellement mis en valeur et, par la suite d'autres végétaux économiques, tels que arbres de forêts; plantes médicinales; plantes à fibres, résine, gomme et huile; céréales et plantes de rapport. Kew sert toujours de station de quarantaine où toute plante en transit d'un pays du Commonwealth à un autre peut être mise en observation quelque temps afin d'éviter la dissémination de maladies et de parasites. Par exemple les plants de cacaoyers, bananiers, cotonniers et d'arbres à caoutchouc ont passé par Kew en route pour le Ghana, le Nigéria, la Malaisie, les îles Fiji, la Trinité et Ceylan. Les échanges amorcés par Banks avec les établissements britanniques et étrangers consacrés à la botanique, l'horticulture et l'agriculture, n'ont pas cessé. Des plantes d'ornement venues des deux Amériques, de l'Extrême-Orient, d'Australie, de Nouvelle-Zélande et d'Afrique du Sud, ont été cultivées à Kew puis acheminées vers les jardins privés des deux mondes par l'intermédiaire des établissements botaniques d'Europe et d'Amérique.

Le Jardin de Kew, depuis qu'il existe, assure également à ceux qui le désirent le moyen de s'instruire en botanique et en agriculture. Bon nombre de ses jeunes employés, grâce à la formation pratique et théorique qu'ils y ont reçue, ont obtenu dans les pays du Commonwealth des postes de conservateurs de jardins botaniques, de surintendants de stations agronomiques, de plantations, de pépinières, de parcs et de jardins. Des spécialistes formés à Kew occupent actuellement des postes importants dans 54 pays: la plupart se trouvent aux Etats-Unis, mais il y en a aussi bon nombre au Canada, en Nouvelle-Zélande, en Afrique du Sud et en Australie. Périodiquement des horticulteurs font des voyages considérables dans les Himalayas, en Chine Occidentale et dans les deux Amériques, recueillant de précieuses collections de semences pour le Jardin et de spécimens desséchés pour l'Herbier.

Depuis l'époque de Sir William Hooker les botanistes de Kew ont été envoyés en mission de recherche ou d'exploration, ou se sont joints à des expéditions géodésiques afin d'étudier la végétation des régions en cause et recueillir des plantes pour l'Herbier. Depuis 1920 des collections très importantes ont été ainsi constituées en Guyane et aux Antilles Britanniques, à Ceylan, en Indonésie, en Australie et dans la plupart des pays africains du Commonwealth.

A notre époque de spécialisation l'étude des végétaux ne peut plus s'étendre, sauf d'une manière très superficielle, à tous les domaines de la botanique pure et appliquée. C'est pourquoi l'on se borne, à Kew, à l'étude de la taxonomie et l'anatomie des plantes, à leur culture et à leur utilisation économique. Il serait cependant très avantageux d'y étudier les autres domaines afin d'utiliser à fond l'incomparable richesse des collections.

BIBLIOGRAPHIE

BEAN, W. J. «The Royal Botanic Gardens, Kew». Londres. 1908.

BOULGER, G. S. *S. East. Nat.*, **20**, 61, 1915.

HILL, A. W. *J.R. Soc. Arts*, **72**, 87, 1923.

SALISBURY, E. J. *Ibid.*, **94**, 336, 1946.

Idem. Endeavour, **6**, 58, 1947.

Idem. Proc. roy. Soc., B, **135**, 419, 1948.

Revue des livres

ASTRONOMIE

LOVELL, A. C. B.: *The Individual and the Universe*. Pp. v+111. Oxford University Press, Londres, 1959. 10s. 6d.

Les progrès techniques de la radioastronomie et le lancement de satellites terrestres ont révolutionné l'observation astronomique ces dernières années. Les grands radio-télescopes d'aujourd'hui sont capables de sonder l'univers à des distances impénétrables au fameux télescope de 5 m de Palomar. C'est sans doute pourquoi le Professeur Lovell a choisi le titre *The Individual and the Universe* pour les Conférences Reith radiodiffusées en 1958 et publiées dans ce volume.

Les conférences retracent l'évolution de la conception humaine de l'univers, depuis l'ancienne croyance, en faveur pendant des siècles, de la position unique de la Terre au centre de l'univers jusqu'aux opinions actuelles. Le Professeur Lovell examine la possibilité d'une épreuve d'observation décisive entre les cosmologies rivales, l'une supposant la création initiale d'un atome primitif et l'autre basée sur la conception d'un univers stable, ce qui entraîne la nécessité de création continue de matière.

Les grands radio-télescopes sont de construction et de fonctionnement coûteux et l'auteur discute assez longuement la question de l'aide d'Etat pour l'astronomie. Le Royaume-Uni institua cette aide bien avant les Etats-Unis, mais les nombreux dons privés pour la construction de grands télescopes permirent à ce dernier pays de faire des progrès considérables. Dans l'Union Soviétique, c'est l'Académie des Sciences, établissement d'Etat, qui finance l'astronomie d'observation.

La question est maintenant liée aux besoins militaires. L'auteur fait remarquer que la force économique et culturelle actuelle des Grandes Puissances découle des recherches scientifiques fondamentales effectuées dans l'abstrait sans applications pratiques en vue. Mais maintenant, en astronomie comme ailleurs en science, la poursuite du bien est liée à celle du mal. C'est une situation qu'on ne peut envisager sans quelque appréhension pour l'avenir; les restrictions de liberté d'investigation et de publication peuvent entraver la recherche.

H. SPENCER JONES

PHYSIQUE

LANDAU, L. D. et LIFSHITZ, E. M.: *Quantum Mechanics. Non-Relativistic Theory*. Traduit du russe par J. B. Sykes et J. S. Bell. Pp. xii+515. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. 80s.

Ce 3e volume de physique théorique de la série traite de la mécanique quantique non relativiste et de certaines de ses applications. Il étudie en particulier les principes fondamentaux, le mouvement dans un champ central, la théorie des perturbations, le «spin» électronique, la théorie des atomes, les molécules diatomiques et polyatomiques, la théorie de la symétrie et celle des collisions élastiques et inélastiques. Les auteurs déclarent qu'ils ont «essayé de traiter ces divers points aussi à fond que possible, s'efforçant d'étudier les questions générales de façon à mettre en relief la signification physique de la théorie le plus clairement que possible avant de passer aux formules mathématiques. L'intention n'est donc pas d'atteindre une rigueur mathématique souvent trompeuse en physique théorique.»

Ce volume nous semble le meilleur ouvrage actuel sur la théorie non relativiste des quanta, exception faite des ouvrages de Dirac et Pauli. Il enseigne en effet plus par l'exemple que par la théorie. Les manuels parus ces derniers temps en Union Soviétique (du moins, la plupart de ceux traduits jusqu'ici) sont à la fois complets, profonds et de clarté admirable. L'attention aux détails révèle un souci d'artiste et ce livre ne fait pas exception à la tradition nouvelle. On a enfin su comment s'y prendre pour amener les savants de marque à écrire des manuels.

A. SALAM

WILSON, J. G. et WOUTHUYSEN, S. A., publié par: *Progress in Elementary Particle and Cosmic Ray Physics*, Vol. iv. Pp. xii +470. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1958. 45 florins.

Ce volume est le 4e de la série bien connue sur les particules élémentaires et les rayons cosmiques. Les volumes précédents se limitaient aux interactions des particules telles qu'elles se comportent dans les rayons cosmiques. Celui-ci comprend maintenant des renseignements données par les grandes machines à accélération des Etats-Unis. Ce changement de direction se reflète dans un chapitre sur la production des mésons κ (W. D. Walker) et un autre sur la conception théorique des phénomènes de particules «étranges» (B. D'Espagnat et J. Prentki). Les trois autres chapitres, formant l'essentiel du livre, traitent de l'interaction des mésons μ avec la matière (G. N. Fowler et A. W. Wolfendale), de la composition et des variations en fonction du temps des rayons cosmiques primaires (S. F. Singer) et de l'origine des radiations cosmiques (V. L. Ginzburg). La différence constatée entre les deux premiers chapitres et les suivants donne peut-être une indication de la nature préliminaire — et dans le cas de la théorie, encore très incertaine — de la physique des particules élémentaires par rapport à la «maturité» atteinte dans les travaux sur les rayons cosmiques. Ne serait-ce que pour ces trois derniers chapitres, le livre sera indispensable aux spécialistes dans ce domaine.

A. SALAM

EISENBUD, L. et WIGNER, E. P.: *Nuclear Structure*. Pp. viii+128. Princeton University Press, Princeton; Oxford University Press, Londres. 1958. 25s.

Depuis la guerre, de nombreux travaux de physique expérimentale et théorique ont été consacrés à l'étude du noyau de l'atome. Bien qu'on ignore encore la forme exacte de l'interaction des nucléons, on a fait des progrès considérables dans l'interprétation des connaissances expérimentales variées que l'on possède déjà sur les noyaux complexes. On se sert toujours à ce propos de modèles simples tels que celui en couches ou celui à particules alpha. Aucun d'eux ne représente plus qu'un certain nombre de constatations sur les noyaux, mais plusieurs, celui en couches en particulier, ont donné des résultats inespérés. La physique nucléaire en est encore au stade képlérien, cherchant à mettre de l'ordre dans la masse de détails expérimentaux. La période newtonienne ne débutera qu'avec l'explication du succès de ces modèles.

Le grand mérite du livre est sa brièveté. Le lecteur ne se perd nulle part dans un excès de détails et pourtant ceux-ci sont suffisants quand il s'agit d'expliquer le besoin d'une certaine méthode d'interprétation et de discuter ses chances de succès. Félicitons les auteurs d'avoir contribué si

habilement à la compréhension du sujet. L'ouvrage sera non seulement indispensable aux étudiants abordant sérieusement l'étude de la physique nucléaire mais passionnera aussi les chercheurs expérimentés n'ayant pas le loisir de jeter un coup d'œil en arrière pour se rendre compte des progrès réalisés. L'existence même du volume montre qu'un degré remarquable d'ordre existe déjà.

Les quatre premiers chapitres, intitulés respectivement: Aspects généraux des noyaux, Systématique des noyaux stables, Propriétés des états nucléaires et Etude des réactions nucléaires, résument les propriétés des noyaux. Après un bref exposé de l'interaction des nucléons au chapitre 5, les trois chapitres suivants s'occupent des modèles: modèle uniforme au chapitre 6, modèles à particules indépendantes au chapitre 7 et modèles à particules nombreuses au chapitre 8. Les deux suivants traitent des réactions nucléaires, le premier s'occupant des collisions rapprochées et le second de la réaction de surface. Les deux derniers chapitres étudient l'interaction avec les champs de neutrons-électrons et les transitions électromagnétiques dans les noyaux. Une bibliographie très utile occupe les dix dernières pages.

H. S. W. MASSEY

CHIMIE

SEMENOV, N. N.: *Some Problems of Chemical Kinetics and Reactivity*, Vol. I. Traduit du russe par J. E. S. Bradley. Pp. x+305. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. 50s.

L'Académicien Semenov a une réputation mondiale pour ses apports à la théorie des réactions en chaîne. Le sujet même s'est ramifié dans le monde entier et il y a une documentation expérimentale abondante sur les systèmes chimiques les plus divers. L'auteur s'efforce ici de mettre un certain ordre dans cette accumulation de faits.

Il donne les énergies d'activation, les chaleurs de réaction, les énergies de liaison, les réactivités relatives de radicaux différents etc., sous forme de tableaux et les relie dans tous les cas possibles, parfois par des expressions de nature demi-empirique.

Les réactions de radicaux libres sont classées et les méthodes d'établissement de constantes de stades particuliers sont étudiées. Autant que possible, les principes permettant de prévoir par ordre de grandeur la vitesse absolue de chaque stade sont envisagés. Les méthodes de déclanchement et de terminaison sont analysées minutieusement, l'amorçage hétérogène de réactions en chaîne par des points de valence libres sur les parois du récipient étant étudié de façon vivante et intéressante. La description de certains travaux soviétiques récents est ingénieuse et invite à la réflexion, tout en étant quelque peu douteuse.

L'ouvrage est écrit de main de maître. Il expose clairement la pensée de l'éminent auteur sur les points de controverse principaux (pensée à laquelle on ne souscrira pas toujours), mais la littérature sur le sujet est toujours bien passée en revue et, sur les points d'opinion partagée, les deux aspects de la question sont habituellement impartialement présentés.

C. N. HINSHELWOOD

PASCAL, P., directeur de publication: *Nouveau traité de chimie minérale*, Vols. III et IV. Vol. III, pp. XII+838; vol. IV, pp. XXXIX+973. Masson et Cie., Paris. 1957 et 1958. Vol. III, broché: 6 000 fr; relié: 6 900 fr. Vol. IV, broché: 7 500 fr; relié: 8 500 fr.

Ce nouveau traité de chimie minérale comptera 19 volumes quand il sera terminé. Les troisième et quatrième volumes viennent de paraître et forment une partie vitale de l'œuvre. Le troisième traite des éléments suivants: rubidium, césium, francium, cuivre, argent et or, tandis que le quatrième fait l'exposé du sous-genre comprenant le béryllium, le magnésium, le calcium, le strontium, le baryum et le radium. Les divers auteurs ont suivi le même plan général, faisant tout d'abord l'historique de l'élément et donnant brièvement sa fréquence dans la nature et la méthode de séparation employée. Vient ensuite un exposé détaillé des propriétés physiques et chimiques principales. La chimie analytique de l'élément est aussi traitée, accompagnée d'une section sur ses usages principaux. On trouve finalement une mine d'information sur les composés importants et intéressants résultant de la combinaison du corps avec une grande variété d'éléments divers.

Le nombre de notes renvoyant à des articles originaux sur des points cités dans le texte (6 997 au 3e volume et 8 873 au 4e) donne une idée de la nature poussée des renseignements donnés. Dans le cas d'éléments formant des dérivés où entrent des substances organiques, les composés organométalliques résultants sont traités spécialement. L'article sur le francium a été écrit comme il se doit par Marguerite Perey. Il est vrai que la séparation de l'élément 87 avait été revendiquée maintes fois auparavant, mais sans justification sérieuse jusqu'à l'œuvre de Mlle M. Perey en 1946. L'Union Internationale de Chimie adopta le nom francium et le symbole Fr. Signalons que les références à cet élément s'arrêtent au 1er avril 1956. Nos félicitations aux divers auteurs sur un exposé ordonné, lucide et détaillé et aux éditeurs sur la belle présentation.

W. WARDLAW

GÉOPHYSIQUE

BERKNER, L. V., publié par: *Rockets and Satellites*. Pp. XX+508. Pergamon Press Ltd., Londres. 1958. 160s.

Bien avant l'Année Géophysique Internationale, plus de 100 fusées avaient été lancées dans l'atmosphère supérieure au cours de recherches diverses. Mais l'A.G.I. différa des entreprises internationales précédentes de nombreuses façons, dont l'emploi de ces nouvelles techniques ne fut pas la moins importante. On s'en souviendra en effet pour l'introduction et le développement extraordinairement rapide de l'emploi des satellites artificiels. Il n'existe pas de source unique de documentation sur cet aspect particulier de la recherche, mais on trouvera dans ce Volume IV des Annales de l'A.G.I. des renseignements variés et nombreux sur les programmes d'étude, les instruments et les véhicules d'un grand nombre de pays. La description de l'immense effort de recherche des U.S.A. occupe la majeure partie de l'ouvrage. On regrette l'absence d'une description similaire au sujet de l'U.R.S.S., mais ce n'est pas la faute de l'auteur. La présentation n'est peut-être pas de qualité égale car l'ouvrage est une simple juxtaposition et se répète parfois. C'est malgré tout une œuvre de référence de valeur, complète sous beaucoup de rapports.

R. L. F. BOYD

MASSEY, H. S. W. et BOYD, R. L. F.: *The Upper Atmosphere*. Pp. XII+333. Hutchinson & Co. Ltd., Londres. 1958. 63s.

Ce livre fait en un peu plus de 300 pages un exposé exact et facile à lire de nos connaissances sur les phénomènes se produisant dans l'atmosphère supérieure, c'est-à-dire à des altitudes de plus de 50 km environ. Il donne d'abord au profane les notions de

physique nécessaires, puis, après un court chapitre sur l'atmosphère, décrit les techniques d'emploi des ballons et fusées dans l'exploration des couches supérieures de l'air. Le chapitre suivant explique les méthodes de mesure de température de l'air à ces altitudes par la réflexion d'ondes sonores et l'ionisation des couches supérieures au moyen d'ondes radio-électriques réfléchies, tandis que les chapitres 6 et 8 décrivent les variations du champ magnétique terrestre et ionosphérique dans des conditions de «calme». Le chapitre 9 traite des perturbations de la surface solaire et de leur effet sur ces dernières. Au chapitre 7, on trouve des compte rendus divers des phénomènes lumineux de l'atmosphère: lumière du ciel nocturne, lueur crépusculaire qui lui est étroitement reliée, aurore boréale et lueurs artificielles produites par l'injection de vapeur de sodium ou d'oxyde azotique dans l'atmosphère supérieure. Le volume se termine par une excellente étude des météores, des rayons cosmiques et des satellites artificiels. Le profane et le scientifique trouveront ici un exposé intéressant et exact du sujet.

G. M. M. DOBSON

O'CONNELL, D. J. K.: *The Green Flash and Other Low Sun Phenomena* (2e édition). Pp. 192. North-Holland Publishing Co., Amsterdam; Interscience Publishers Inc., New-York. 1958. 45s.

Ce volume sur les effets optiques observés au lever et au coucher du soleil donne priorité au «rayon vert», qui est probablement le phénomène atmosphérique le plus frappant de tous. On y trouve aussi des observations et des hypothèses historiques ainsi qu'une bibliographie remarquablement abondante.

On sait depuis 40 ans environ que c'est un phénomène physique réel qui s'explique par une différence de longueurs d'onde de la réfraction et de l'absorption des rayons solaires. Le seul doute important qui subsiste concerne les conditions météorologiques précises favorables. L'instabilité notoire du phénomène semble indiquer le besoin de super-réfraction atmosphérique (comme il se produit lorsqu'un courant d'air est refroidi par-dessous); l'hypothèse est nettement confirmée par les températures obtenues à la radiosonde que cite l'auteur mais la mesure de la réfraction donnée par la comparaison d'heures réelles et théoriques de coucher du soleil accompagné de rayon vert est moins en sa faveur. On regrette que cet aspect du phénomène ne soit pas plus longuement étudié.

L'ouvrage se remarque surtout pour les excellentes photos (en couleur et en noir sur blanc) du rayon vert et effets similaires, prises à l'Observatoire du Vatican à l'aide d'un télescope muni d'appareil photographique.

D. H. McINTOSH

BIOLOGIE

WOLSTENHOLME, G. E. W. et O'CONNOR, C. M., publié par: *Ciba Foundation Symposium on Medical Biology and Etruscan Origins*. Pp. XII+255. J. & A. Churchill Ltd., Londres. 1959. 45s.

Cette conférence originale, conçue par un biochimiste et un humaniste de l'Université de Cambridge, fut réalisée grâce à l'intervention du Directeur de la Fondation Ciba qui réunit, d'une part des généticiens et anthropologues et de l'autre, des archéologues et historiens, proposant aux biologistes d'aider les humanistes à résoudre l'ancienne controverse de l'origine des Etrusques. Il est aisé de réunir des opinions contradictoires sur à peu près tout ce qui concerne ce peuple et, sur l'Italie centrale, «nous ne possédons pas assez de détails pour conclure positivement ou négativement à l'existence de différences dans la répartition des groupements sanguins ayant une relation possible avec l'influence ethnique des Etrusques». Mais le livre déborde d'intérêt et plaira à beaucoup, quelle que soit leur discipline. Les membres de la conférence, «confiants de la valeur des travaux sur la fréquence de répartition des groupements sanguins pour l'appréciation de points importants — jusqu'ici insuffisamment étudiés — appartenant en commun aux divers groupes ethniques», adressèrent une résolution au Comité National pour l'Etude des groupements sanguins d'Italie. Toutes nos félicitations au Directeur de la Fondation Ciba pour l'établissement fructueux d'une nouvelle technique.

K. J. FRANKLIN

BIOCHIMIE

COOK, A. H., publié par: *The Chemistry and Biology of Yeasts*. Pp. XII+763. Academic Press Inc., New-York; Academic Books Ltd., Londres. 1958. $22.

Il y a un manque sérieux d'ouvrages sur la chimie et la biologie des levures et ce volume sera chaleureusement accueilli par tous ceux qui s'intéressent au sujet. Il n'a pas été aisé d'enfermer l'univers en expansion des connaissances établies sur la levure dans un seul ouvrage et nous sommes redevables aux auteurs et au directeur de publication pour la façon dont la tâche a été accomplie.

On trouvera ici une abondante documentation jamais rassemblée auparavant. Les faits ne sont pas toujours cités là où on s'y attend et l'index indique, par exemple, que deux seulement des allusions à la respiration se trouvent dans le chapitre intitulé: Fermentation et Respiration. La révision soignée du texte, par ailleurs, empêche le chevauchement d'un chapitre sur l'autre. Le nombre des auteurs fait malheureusement obstacle à l'unité du sujet et à la présentation de la cellule de levure comme un tout coordonné.

Le volume est bien présenté et mérite d'être recommandé. Tous les spécialistes devront le lire et beaucoup le conserveront à portée de la main.

A. K. MILLS

ZOOLOGIE

MILLOT, J. et ANTHONY, J.: *Anatomie de* Latimeria Chalumnae. Vol. I, *Squelette et muscles*. Pp. 122. Centre National de la Recherche Scientifique, Paris. 1958. 9 800 fr.

Ce magnifique volume présente le résultat des recherches minutieuses effectuées par le Professeur Millot et le Dr Anthony en l'espace de 5 ans sur le squelette et les muscles des *Latimeria*. Le premier volume de ces descriptions très détaillées de l'anatomie interne de ces remarquables poissons est consacré au squelette et à la musculature «au nom de l'importance majeure des formations squelettiques en paléontologie et de la possibilité qu'elles donnent de fructueuses comparaisons avec les formes disparues». Les paléontologistes seront en effet reconnaissants de cette considération et ne seraient pas humains s'ils n'étaient pas un peu envieux aussi à la vue des possibilités uniques de ce matériau. Les auteurs avaient à leur disposition dix spécimens en bon état de *Latimeria*, dont 7 mâles et 3 femelles.

Les points remarquables de la question ont déjà été publiés dans des articles par le Professeur Millot et ses collègues, mais le paléontologiste trouvera ici les détails indispensables à la comparaison du poisson actuel avec ses matériaux trop fragmentaires. Les auteurs font d'intéressantes comparaisons avec les formes disparues et

donnent d'utiles exemples d'interprétation des matériaux fossiles — comme sur le manque de corrélation entre l'énorme cavité crânienne et le cerveau minuscule. E. I. WHITE

MÉDECINE

BRAESTRUP, C. B. et WYCKOFF, H. O.: *Radiation Protection.* Pp. XIX+361. Charles C. Thomas, Springfield, U.S.A.; Blackwell Scientific Publications, Oxford. 1958. 80s.

Ce volume fait un exposé bien équilibré des dangers des radiations, mais la plupart des mesures de protection étudiées sont du domaine médical. Ceux qui recherchent un guide général sur la question ne devront pas perdre ce point de vue.

La fluoroscopie est justement présentée comme l'une des méthodes les plus dangereuses en raison des fortes doses totales que peuvent absorber le malade et le radiologue.

La majeure partie de l'étude de la protection a trait à la structure des bâtiments et, bien que ce soit un aspect important, on aimerait plus de détails sur les perfectionnements récents des appareils radiographiques pour réduire le risque de radiation. Les notes bibliographiques sont bien choisies en général, mais puisqu'elles vont jusqu'au milieu de 1958, elles auraient pu comprendre le point ci-dessus. La protection d'organes particuliers du malade au moyen d'écrans spéciaux est traitée assez brièvement.

Dans la section sur les opérations de luminisation, le polonium est classé avec le radium comme émetteur de rayons gamma, ce qui prête à confusion car le polonium émet un rayon gamma pour 100 000 particules alpha environ et se comporte donc en pratique en émetteur alpha.

L'ouvrage est bien rédigé et mérite d'être recommandé, aux radiologues en particulier. Le dernier supplément sur les cas de lésions causées par les radiations réelles ou imaginaires fait bien le point de la situation. S. JEFFERSON

Nuclear Explosions and their Effects (édition revue et augmentée). Avec avant-propos de Jawaharlal Nehru. Pp. 276. The Publications Division, Ministry of Information and Broadcasting, Government of India, Delhi. 1958. 25s.

Ce volume fait en essence le bilan biologique des explosions nucléaires. Les 4 premiers chapitres, 60 pages environ, relatent l'histoire, les principes physiques et les effets généraux des engins nucléaires. Les 3 suivants étudient les effets biologiques en plus de 200 pages.

La première édition, parue en 1956, complétait utilement les rapports du *Medical Research Council* de Grande-Bretagne et de l'Académie des Sciences des Etats-Unis sur les dangers biologiques de toutes les formes de radiations ionisantes civiles ou militaires.

La seconde «va beaucoup plus loin que la première dans l'étude des dangers des explosions nucléaires mais les conclusions sont sensiblement les mêmes» déclare D. S. Kothari, l'un des rédacteurs. Elle est contemporaine du récent rapport du Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des radiations atomiques et la comparaison s'impose.

Il est certain qu'en cas de guerre les engins nucléaires auraient des effets dynamiques, thermiques et radiologiques horriblement néfastes. Mais on ignore l'effet biologique quantitatif de l'expérimentation sur ces engins en temps de paix. Le Comité de l'U.N.O. admit la possibilité de conséquences génétiques mais les trouva insignifiantes à côté de celles de la radiologie médicale. Il envisagea les risques courus par l'individu de deux façons: un aspect pessimiste essentiellement comparable au risque génétique et sans seuil distinct, un autre plus optimiste avec un seuil difficile à dépasser sauf en cas de guerre ou d'accident. Ce rapport donne donc une impression d'objectivité. Par contre, l'ouvrage indien penche fortement en faveur de la théorie que les effets somatiques à retardement n'ont pas de seuil et ne dépendent pas de la quantité de radiation absorbée. La page 199 déclare, par exemple, que «la leucémie semble résulter de mutations dans les cellules (somatiques) des organes où se forme le sang», opinion que nous réfutons avec la plupart des chercheurs dans ce domaine. L'ouvrage n'a donc pas l'impartialité désirée.

J. F. LOUTIT

British Medical Bulletin, Vol. XV, No. 1: *Symposium on Haematology*. Pp. 88. The British Council, Londres. 1959. 20s.

Par une heureuse coïncidence, la Société Européenne d'Hématologie doit se réunir à Londres cette année et le premier numéro du *British Medical Bulletin* se trouve consacré au même sujet. Les trois premiers articles traitent de l'absorption du fer et de la vitamine B_{12} ainsi que du rôle de l'acide folique dans l'anémie. En ce qui concerne le fer et la vitamine B_{12}, les progrès rendus possibles par les isotopes radioactifs ont été maintenant consolidés, mais bien qu'on sache en détail le rôle joué par l'acide folique dans les réactions biochimiques, les méthodes de détermination de l'état de cet acide dans l'organisme intact sont encore peu satisfaisantes. Le second groupe d'articles traite de l'hémoglobine dont on a découvert de nombreuses catégories différentes ces dix dernières années. On sait davantage de choses sur l'équilibre entre les facteurs génétiques et le milieu dans les populations humaines et la nature chimique du défaut produit dans l'hémoglobine par la mutation d'un gène est maintenant connue. D'autres articles s'occupent de l'hémolyse et des anémies hémolytiques, point sur lequel on a fait les progrès les plus marquants depuis la guerre, de la cytologie des cellules du sang et de la leucémie. L'excellence de la présentation des articles mérite mention spéciale. L. J. WITTS

ÉLECTROTECHNIQUE

FOX, J., publié par: *Proceedings of the Symposium on Electronic Waveguides, New York, April* 1958. Pp. XIX+418. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1959. 40s.

Le titre de cette conférence est assez surprenant car, bien que l'électronique et les guides d'ondes soient maintenant des questions courantes, on ne les trouve pas d'ordinaire associées. L'avant-propos du Dr Weber, directeur du Brooklyn Polytechnic, où se tint la conférence, précise toutefois ce que cela implique. Il y a maintenant de nombreux cas où les ondes électromagnétiques et les faisceaux d'électrons ont une action réciproque, pour ne citer que les nombreuses catégories d'amplificateurs à ondes ultra-courtes et d'oscillateurs, et la propagation des ondes de radio dans l'ionosphère. La théorie de questions si diverses dérive des équations de Maxwell et des équations électrodynamiques. Les 26 articles présentés ici, œuvre des meilleurs spécialistes dans ce domaine, font un excellent exposé des connaissances actuelles sur ce sujet si important.

Le volume sera extrêmement utile à ceux qui ont affaire à l'étude des valves à ondes ultra-courtes et ils seront reconnaissants de la rapidité de publication. Un certain nombre d'articles ont un intérêt plus général et celui du Dr Kompfner sur les nouveaux

amplificateurs et oscillateurs basés sur des effets quantiques de l'état solide et sur l'emploi d'éléments à réactance variable fait une introduction magistrale au sujet. Les théorèmes généraux d'interaction entre les ondes électromagnétiques et les faisceaux d'électrons trouveront aussi certainement des applications en hydrodynamique magnétique, domaine actuellement de grande importance dans les travaux sur la fusion. J. BROWN

AGRICULTURE

CERUTI SCURTI, J.: *Le Malattie delle Piante*. Partie I, *Malattie da virus e da parassiti vegetali*. Pp. VIII + 390. Loescher, Turin. 1958. 2 500 lires.

Le but du livre est d'offrir aux étudiants et spécialistes un exposé essentiellement pratique des maladies non parasitiques, à virus, à bactéries et à champignons des végétaux cultivés d'Italie, ce qu'il fait admirablement. L'auteur évite l'excès de discussion académique et de théorie et la documentation fournie est exacte, à jour et agréablement concise. Les maladies non parasitiques sont classées selon leur cause, les bactériennes selon leurs symptômes et les maladies à champignons en familles et genres. Les maladies à virus sont divisées selon l'hôte et constituent la partie la moins satisfaisante du livre. L'introduction est en plusieurs parties, dont l'une sur les fongicides accompagnée d'un tableau de compatibilité. Il y a aussi un long glossaire qui rendra service et un index complet. Le tout est illustré de 4 planches originales en couleur représentant 25 maladies et de 190 photos et dessins. La photographie est assez bonne mais ne rend pas pleinement justice à l'excellence du texte. La plupart des maladies étudiées sont communes à de nombreux pays et il est intéressant de comparer leur importance relative et l'attention qu'on leur accorde en Italie avec celle qu'on leur donne en Grande-Bretagne, par exemple. W. C. MOORE

HAW, R. C.: *The Conservation of Natural Resources*. Pp. 256. Faber and Faber Ltd., Londres. 1959. 30s.

L'auteur enseigne la conservation de l'eau et du sol à l'établissement Domboshawa en Rhodésie du Sud et a une grande expérience des problèmes de protection en Afrique centrale, orientale et en Afrique du Sud. Le livre débute par un tableau éloquent et émouvant des ravages de l'érosion qu'il a observés et des pertes en sol fertile qui résultent. L'érosion naturelle est un des principaux facteurs de l'évolution géologique, mais elle est accélérée par l'homme en beaucoup d'endroits, ce qu'on pourrait empêcher en grande partie en faisant meilleur usage du sol, comme dans la remarquable réalisation de la *Tennessee Valley Authority* dans la vallée du Mississippi.

Cette étude diffère de la plupart des ouvrages sur les ravages de l'érosion en ce qu'elle est presque entièrement consacrée aux détails pratiques des méthodes de conservation du sol et de l'eau. Son but est d'aider les cultivateurs à se rendre compte des méthodes de lutte contre l'érosion. Un volume de cette taille ne permet naturellement pas de décrire en détail les mesures de culture et d'agronomie nécessaires, mais leur exposé est clair et convaincant et elles sont accompagnées d'une bibliographie utile et d'un supplément sur les plantes pouvant aider à la préservation du sol. Les fruits de l'expérience de l'auteur profiteront aux cultivateurs d'une étendue beaucoup plus vaste, notamment dans les zones tropicales et subtropicales et cet ouvrage leur sera un guide de grande valeur. H. HARTLEY

MÉTALLURGIE

HANSEN, M., en collaboration avec ANDERKO, K.: *Constitution of Binary Alloys* (2e édition). Pp. XIX + 1305. McGraw-Hill Book Co. Inc., New-York; McGraw-Hill Publishing Co. Ltd., Londres. 1958. 252s.

La connaissance du diagramme de phases approprié est indispensable à toute étude où entrent les propriétés des alliages et peu d'ouvrages de référence ont la popularité de *Der Aufbau der Zweistofflegierungen* de Hansen. Cette revue complète de la question des diagrammes binaires parut en 1936. Sa valeur a naturellement diminué depuis cette date mais aucune étude plus récente du sujet n'a véritablement remplacé cet examen critique et minutieux des faits. La seconde édition est donc assurée d'un accueil chaleureux de la part des métallurgistes, entre autres. Le texte a été entièrement refait.

Le nombre accru de systèmes traités (1334 au lieu de 828), celui des diagrammes reproduits (717 au lieu de 456) et d'ouvrages consultés (9 800 au lieu de 5 500) donnent une idée de la tâche des auteurs. Le style est plus concis et la comparaison détaillée des mérites relatifs de diverses recherches a dû être supprimée, bien que les auteurs aient pris grand soin de choisir et de recommander les meilleurs textes sur la question.

Les diagrammes de phases sont maintenant tracés par des échelles composites, marquées linéairement en pourcentages atomiques; il y a aussi des échelles non linéaires de pourcentages de poids et des tableaux de convertibilité. Le tracé et la reproduction des diagrammes sont excellents. Nous recommandons vivement ce volume.

J. W. CHRISTIAN

MERRIMAN, A. D.: *A Dictionary of Metallurgy*. Pp. XV + 401. Macdonald and Evans Ltd., Londres. 1958. 126s.

La composition de ce dictionnaire a dû demander un effort considérable, mais si on le met à l'essai sur une cinquantaine de termes courants de métallurgie, on s'aperçoit vite que le terme «glossaire» serait mieux approprié. Par ailleurs, tout en donnant quelques termes de la nomenclature de l'énergie atomique, il n'est pas aussi à jour qu'il le prétend. A en juger par l'exemple d'un des métaux récents comme le titanium, il semble s'arrêter à 1953 ou 54. L'actualité des références devrait être précisée dans les divers domaines des métaux. Les chercheurs ne le trouveront pas assez encyclopédique mais il aidera suffisamment les métallurgistes sur l'aspect des minéraux et de l'extraction. Signalons le peu de place accordé aux termes servant à l'étude des théories de l'état métallique, d'une part, et à la terminologie métallurgique ayant trait par exemple aux techniques modernes de fonte, laminage, jointure (soudure en particulier) et radioscopie de l'autre, 7 000 termes courants sont pourtant cités.

Un peu plus d'effort certainement justifié en vue de produire une œuvre vraiment utile aux métallurgistes. Tel quel, il rendra pourtant service comme premier ouvrage de référence à ceux qui ne touchent que de loin à la métallurgie, surtout parce que c'est le seul ouvrage de ce genre en anglais.

W. O. ALEXANDER

HISTOIRE DE LA SCIENCE

HANSON, N. R.: *Patterns of Discovery*. Pp. IX + 241. Cambridge University Press, Londres. 1958. 30s.

Le Professeur Hanson déclare dans l'introduction que son «but n'est pas de faire l'essai d'une théorie mais de la découvrir». Il ne s'intéresse pas tant «à la preuve d'hypothèses qu'à leur

découverte». Ce livre fait une agréable solution de continuité dans le courant d'études inspirées par les écoles d'analyse philosophique de Wittgenstein ou de Carnap. Non pas que l'auteur (ou nous-mêmes) mettions en doute leur œuvre de clarification dans l'édifice logique des connaissances actuelles; mais en insistant trop sur l'élément hypothético-déductif des systèmes «complets», elles ont outrepassé selon lui le processus de la pensée créatrice. Par une admirable étude de l'origine de la cinématique terrestre et céleste de Galilée et Kepler, il introduit l'élément manquant de «fondement conceptuel». De la plus grande importance dans cette partie de l'œuvre est la démonstration, graphique et argumentative, de l'ambivalence de simples «renseignements» perceptifs jusqu'à ce qu'un système préétabli influence leur interprétation. Le fait est bien connu des psychologues, comme le prouve une grande variété d'exemples, mais trop souvent ignoré des philosophes. La partie maîtresse de l'œuvre se termine par l'application effective de cette théorie à la solution des paradoxes et des incertitudes de la physique des particules élémentaires.

Le Professeur Hanson écrit avec beaucoup de verve; chaque page stimule la critique. Et bien qu'on puisse se demander dans quelle mesure son enquête convient à la science, c'est un ouvrage que ceux qui s'intéressent profondément au progrès scientifique ne devront pas négliger. Les 60 pages de notes critiques et bibliographiques à la fin du volume révèlent la prodigieuse activité de l'auteur et encourageront le lecteur à des recherches plus poussées.

W. P. D. WIGHTMAN

SINGER, Charles, HOLMYARD, E. J., HALL, A. R. et WILLIAMS, Trevor I., publié par: *A History of Technology*, Vol. IV. *The Industrial Revolution* c. 1750–c. 1850. Pp. XXXIV + 728. Clarendon Press, Oxford. 1958. 168s.

Ce volume est vraiment la pièce maîtresse de cette Histoire de la Technologie. Dans le siècle traité, la technologie influençant de plus en plus la science et étant influencée par elle, amena finalement la formation de sociétés véritablement industrielles. Alors que les volumes précédents portaient sur le monde entier, celui-ci se limite étroitement aux événements de l'Ouest. Comme ses prédécesseurs, il est fait de chapitres sur grande variété de sujets. Œuvre de divers spécialistes, ils sont groupés sous des en-têtes plus importants. On compte 350 dessins linéaires, 48 planches (dont beaucoup comportent plusieurs illustrations) et des index faciles à consulter de noms propres de personnages et de lieux, et de sujets.

Le premier groupe de chapitres formant la Partie I traite de la production de base et étudie les méthodes agricoles et la machinerie, la conservation du poisson et la chasse à la baleine, l'extraction et le traitement de la houille, du fer et des métaux non-ferreux. On voit ici comment les populations rapidement croissantes des pays industriels étaient nourries et vêtues et ce qui fournissait à l'industrie sa source principale d'énergie — la houille — et les métaux dont étaient faits les machines et beaucoup de leurs produits. La Partie II décrit les formes d'énergie exploitées à l'aide de comparaisons quantitatives et il faut noter ici l'importance considérable du moulin à eau, qui ne fut que très lentement remplacé par des modèles perfectionnés et suffisamment efficaces de machines à vapeur au charbon. La Partie III s'occupe des manufactures et comprend l'éveil de l'industrie chimique (réalisation presque exclusivement française au début), la fabrication de gaz d'éclairage et de chauffage, l'industrie textile, les céramiques et le verre et les progrès rapides de l'étude et de la construction des instruments de précision (essentiels à la science comme au contrôle de l'industrie perfectionnée), sans oublier les machines-outils. La Partie IV nous transporte dans un autre aspect du sujet: l'application des nouveaux produits et procédés industriels à la construction des bâtiments et des ponts, surtout en fer, et à l'établissement de conduites d'eau et d'installations sanitaires rendues urgentes par la croissance des grandes villes industrielles. La Partie V passe au transport: routes, canaux, bateaux, cartographie, dragage et télégraphie. Le volume se termine par un bref essai sur le changement de caractère de la technologie, basée tout d'abord sur des techniques empiriques avant de devenir largement scientifique vers le milieu du XIXe siècle.

Deux grands problèmes historiques entrent dans cet ouvrage. Le premier est l'interaction de la science et de la technologie et l'on donne une idée des progrès scientifiques qui influencèrent celle-ci. (Signalons ici la petite erreur concernant James Watt, qui aurait «découvert indépendamment le phénomène de la chaleur latente de la vapeur», p. 182.) Mais le manque de place a empêché toute discussion du second: les rapports de la technologie avec l'édifice social et économique et avec les besoins du commerce et de la guerre. Bien que ces questions doivent être brièvement étudiées dans le volume suivant, le dernier, il serait bon qu'un historien se serve des matériaux présentés dans cette série pour faire une analyse complète de l'ensemble de la question, reliant l'histoire de la technologie à celle de la science et à ses établissements d'enseignement et de recherche.

A. C. CROMBIE

Brèves notices bibliographiques

(Ces notices sont plus descriptives que critiques et sont destinées à donner une indication générale de la nature et de la portée des ouvrages.)

McConnell, J.: *Quantum Particle Dynamics*. Pp. xi + 252. North-Holland Publishing Co., Amsterdam. 1958. 40s.

Ce volume donne un fond de connaissances à ceux qui ignorent tout de la relativité et de la théorie des quanta, pour leur permettre de s'instruire sur cette dernière et la théorie des mésons et, par là, de comprendre les aspects principaux de la théorie des particules élémentaires. La question est traitée mathématiquement mais ne demande qu'une connaissance moyenne du calcul infinitésimal et de l'algèbre élémentaire. L'ouvrage s'adresse pourtant aux étudiants avancés et aux chercheurs. Il y a des chapitres sur la théorie des quanta, la mécanique ondulatoire et matricielle, l'équation de Dirac, les forces nucléaires, les mésons et les nucléons.

Collins, S. C. et Cannaday, R. L.: *Expansion Machines for Low Temperature Processes*. Pp. 116. Clarendon Press, Oxford; Oxford University Press, Londres. 1958. 12s. 6d.

Ce livre retrace brièvement l'évolution des moteurs utilisés dans la réfrigération et étudie aussi les moteurs et turbines employés pour la liquéfaction des gaz ainsi que les machines à détente dans les systèmes à basses températures. Ces machines sont en partie responsables des progrès frappants réalisés dans les travaux sur la science des basses températures. Le volume traite aussi de certaines de leurs applications.

Öpik, E. J.: *Physics of Meteor Flight in the Atmosphere*. Pp. viii + 174. Interscience Publishers Inc., New-York; Interscience Publishers Ltd., Londres. 1958. Broché, 15s.; relié, 30s.

Les phénomènes résultant du passage des météores dans l'atmosphère terrestre sont présentés ici pour servir de base à des travaux plus poussés. Les points étudiés comprennent la classification des météores, le transfert d'énergie météorique, l'ablation et les collisions atomiques. Le dernier chapitre cite quelques applications, faisant mention des Draconides et des météores visibles à l'œil nu.

Trotman-Dickenson, A. F.: *Free Radicals*. Pp. viii + 142. Methuen & Co. Ltd., Londres; John Wiley & Sons Inc., New-York. 1959. 12s. 6d.

La plus grande partie du volume s'occupe des aspects quantitatifs des réactions élémentaires où entrent des radicaux, mais l'ensemble de la question des radicaux est aussi rapidement passé en revue, dont les propriétés physiques des radicaux libres et les méthodes expérimentales employées dans leur étude. Il y a un chapitre sur les réactions des biradicaux.

Pascal, P., publié par: *Nouveau traité de chimie minérale*. Vol. xii, pp. xxxix + 692; Vol. xix, pp. xxxix + 953. Masson et Cie, Paris. 1958. Vol. xii: broché, 6 000 fr; relié, 7 000 fr. Vol. xix; broché, 8 500 fr; relié, 9 700 fr.

Au volume xii, on trouve un chapitre de A. Morette sur le vanadium, un autre de R. Rohmer et M. Foex sur le niobium et le tantalum et une section plus courte sur le protoactinium de G. Bouissières et M. Haïssinsky. Les caractéristiques physico-chimiques des éléments sont mieux connues qu'au moment de la dernière édition, ce qui a permis de les classer plus systématiquement. Il a été aussi possible d'éliminer les composés douteux et de mieux mettre en relief les rapports entre ces éléments et leurs voisins dans la Table Périodique.

Le volume xix — il y en aura vingt en tout — traite des six métaux platineux. La section sur le ruthénium et l'osmium est l'œuvre de R. Charonnat et celle sur le rhodium de G. Ciepka et P. Poulenc. Les articles de M. Delépine sur l'iridium et de C. Duval sur le palladium et le platine figuraient déjà dans l'édition précédente.

Carlisle, D. B. et Knowles, Sir Francis: *Endocrine Control in Crustaceans*. Pp. vii + 120. Cambridge University Press, Londres. 1959. 21s.

Certaines fonctions biologiques des crustacés dépendent de substances chimiques élaborées dans les cellules nerveuses ou autres et transportées par le sang. Le volume discute les études ayant marqué des progrès importants dans les connaissances sur ce point. La bibliographie est très complète.

Sirk, H.: *Einführung in die Vektorrechnung für Naturwissenschaftler und Chemiker*. Pp. xi + 124. Verlag von Dr Dietrich Steinkopff, Darmstadt. 1958. DM 16.

Les mathématiques vectorielles sont employées dans de nombreux domaines scientifiques et ce volume en donne les fondements. Il débute par les principes fondamentaux et traite de l'algèbre vectorielle élémentaire et des champs vectoriels. On trouve aussi des exemples de traitement vectoriel de certains problèmes de cristallographie, chimie, physique et météorologie ainsi que quelques exemples tirés de l'électrocardiographie.

Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society, Vol. iv. Pp. 359. The Royal Society, Londres. 1958. 30s.

Compte rendu biographique et scientifique de la carrière des 27 membres de la Société décédés en 1957–58. Chaque notice est précédée d'une photographie grand format et suivie de la bibliographie des œuvres parues de l'auteur.

Enriques, G., Macorini, E. et Pampaloni, G., publié par: *Le Leggi della Vita*. Pp. 687. Nicola Zanichelli Editore, Bologne. 1959. 5 800 lires.

Ce volume fait partie d'une série d'ouvrages de biologie générale. C'est une encyclopédie de demi-vulgarisation abondamment illustrée, faite d'articles généraux d'auteurs divers sur la découverte du monde vivant, la cytologie, les fonctions biologiques de l'organisme, le milieu et la vie, le comportement animal et le contrôle biologique. La partie intitulée «Documentation» fait la chronologie des sciences biologiques et comprend des tableaux et des diagrammes généraux d'intérêt biologique avec un dictionnaire de termes techniques de 193 pages.

Persico, E.: *Gli Atomi e la loro Energia*. Pp. xvi + 490. Nicola Zanichelli, Editore, Bologne. 1959. 5 500 lires.

Ce livre est en deux parties, la première traitant de physique atomique, la seconde de physique nucléaire. L'étude est surtout théorique mais ne demande pas de connaissances mathématiques dépassant le calcul différentiel et intégral élémentaire. Les chapitres d'introduction traitent des théories Bohr-Sommerfeld de l'atome, allant jusqu'à la conception moderne de la mécanique quantique et ondulatoire. La section de physique nucléaire étudie les phénomènes radioactifs fondamentaux et relate les applications récentes de la fission nucléaire.

Notes biographiques sur les collaborateurs

H. C. VAN DE HULST
Ph.D.,

Naquit à Utrecht en 1918 et passa son doctorat à l'Université de la ville en 1946. Il est actuellement professeur d'Astrophysique à l'Université de Leyde. A fait paraître *Light Scattering by Small Particles* et de nombreux articles d'astronomie sur la couronne solaire, la lumière zodiacale, la poussière interstellaire, le gaz interstellaire et la radioastronomie. En 1944 il reçut la médaille Henry Draper et la médaille Eddington pour avoir prévu l'existence de la raie 21 cm et pour ses travaux sur ce point avec l'équipe de Leyde.

J. W. ATZ
B.A., M.Sc., Ph.D.,

Naquit en 1915 et étudia aux Universités Cornell et de New-York. En 1937 il entra à l'Aquarium de la *New York Zoological Society* et, à part les années de guerre, y travaille depuis cette date. Il fut nommé Conservateur auxiliaire en 1947 et Conservateur-adjoint en 1957. sur les vampyromorphes et les céphalopodes des eaux profondes. Elle fait des travaux expérimentaux sur l'endocrinologie des poissons depuis 1947.

C. R. AUSTIN
D.Sc., B.V.Sc.,

Est né en 1914 à Sydney en Australie et fit ses études à *Eastbourne College* en Angleterre et à l'Université de Sydney. Il fit partie du personnel de recherche de la *Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation* d'Australie de 1938 à 1954, étudiant les aspects biochimiques de la toxémie de la gestation du mouton, la mise au point de rations militaires spéciales de campagne et de secours et la reproduction au point de vue physiologique. Il appartient au personnel de recherche du *Medical Research Council* d'Angleterre depuis 1954. Il fait en ce moment des travaux sur la fertilisation des mammifères et phénomènes apparentés. Il est secrétaire de la *Society for Endocrinology* depuis 1956.

D. McKIE
Ph.D., D.Sc.,

Naquit dans le Monmouthshire en 1896. Il entra à *University College*, à Londres en 1920 et y passa ses diplômes de chimie. Il est maintenant Professeur d'Histoire scientifique à l'Université de Londres. Il a beaucoup écrit sur l'histoire de la chimie, dont un ouvrage faisant autorité sur la vie et l'œuvre de Lavoisier.

J. SUTTON
Ph.D., F.G.S.,

Naquit en 1919 et étudia à l'*Imperial* College à Londres. Après avoir été radariste pendant la guerre, il retourna à l'*Imperial College* en 1947 pour étudier les roches pré-cambriennes du Loch Torridon. Il a travaillé depuis sur les roches cristallines de nombreuses autres régions des Hautes-Terres d'Ecosse. En 1956 il fut nommé maître de conférences et, en 1958, professeur de Géologie à l'*Imperial College*.

G. E. PICKFORD
Ph.D.,

Naquit en Angleterre en 1902. Après des études à Cambridge, elle passe trois ans comme titulaire de la Bourse de voyage Mary Ewart, à étudier les vers de terre de l'Afrique du Sud. Elle soutint sa thèse de doctorat sur ce sujet à *Yale University* en 1931. En 1934 elle entra au *Bingham Oceanographic Laboratory*, où elle se trouve encore, ayant été nommée Adjoint de Recherches (avec rang de Professeur suppléant) en 1946. Elle enseigna à *Albertus Magnus College*, New Haven dans le Connecticut de 1934 à 1948. Elle a étudié les octopodes de diverses parties du monde et a publié plusieurs articles sur le sujet ainsi que

E. C. AMOROSO
Ph.D., M.B., B.Ch., B.A.O., F.R.S.,

Fit ses études de médecine à *University College* à Dublin. Il étudia aussi au *Kaiser Wilhelm Institut für Zellforschung* de Berlin, à l'Université de Fribourg et à *University College* à Londres. En 1929 il reçut la médaille McArdle de chirurgie et une bourse de voyages scientifiques de l'Université Nationale d'Irlande. Il fut nommé au *Royal Veterinary College* de l'Université de Londres en 1935, où il enseigne la physiologie depuis 1948. Ses travaux ont porté surtout sur la constitution et le rôle du placenta et sur la physiologie de la reproduction, sur laquelle il a fait paraître de nombreux articles.

C. E. HUBBARD
O.B.E., F.L.S.,

Né dans le Norfolk en 1900. Entra aux *Royal Botanic Gardens* de Kew en 1920. Au bout de 2 ans il passa au jardin sec, où il se spécialisa dans les Graminées dès 1926. Il fut botaniste responsable de ces plantes pendant de longues années à Kew. Le Gouvernement du Queensland emprunta ses services en 1930–31 pour mettre à jour ses collections d'herbes. Il a beaucoup écrit, sur les herbes de Grande-Bretagne, d'Afrique et d'Australie en particulier. Il a été nommé conservateur du jardin sec et de la bibliothèque de Kew en 1957 et directeur-adjoint des Jardins en 1959.